



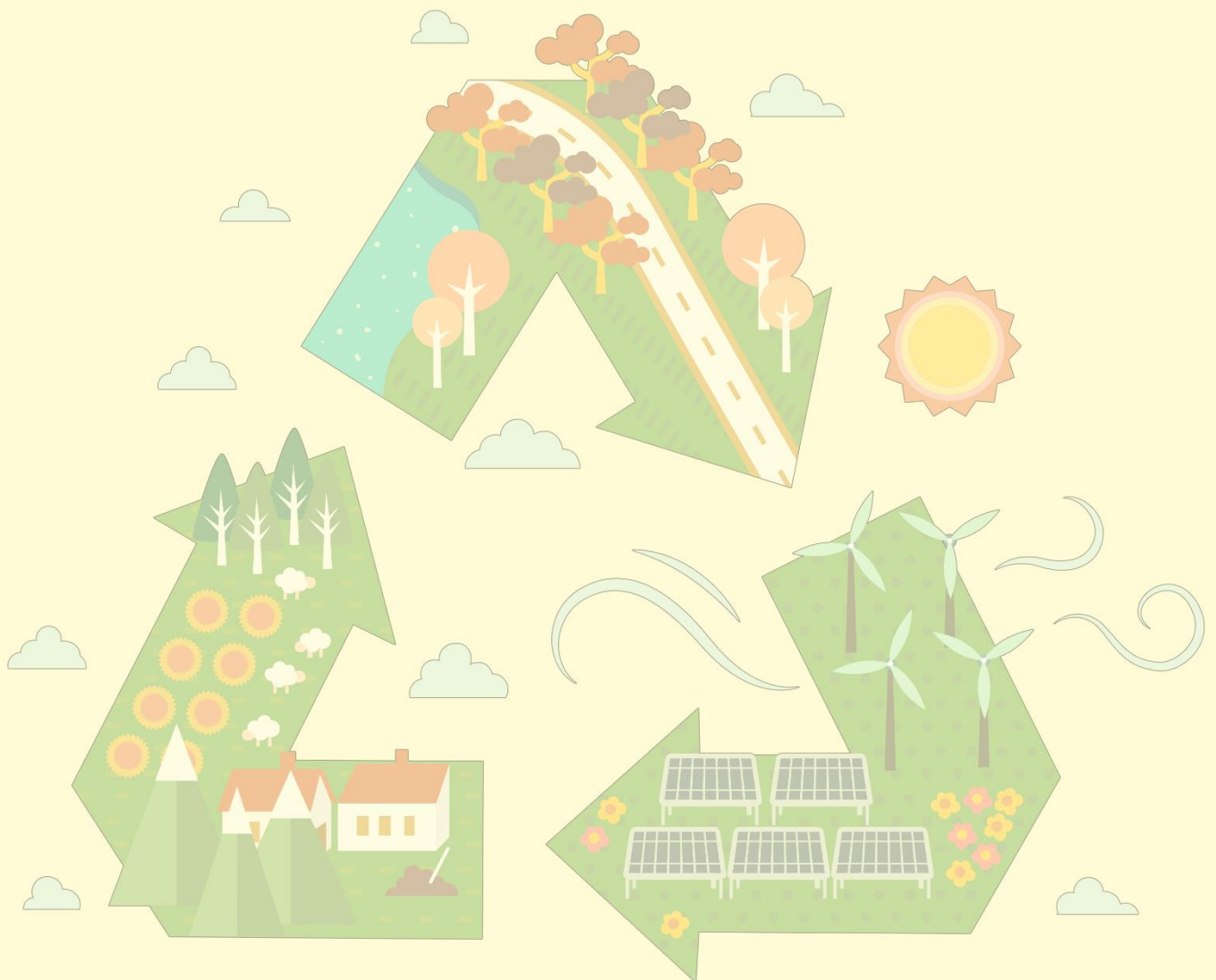
**UNIVERSITAS
ATMA JAYA YOGYAKARTA**



SENENDO

SEMINAR NASIONAL ENERGI INDONESIA

**PERAN TEKNOLOGI INFORMASI & KOMUNIKASI
UNTUK MENDUKUNG KEMANDIRIAN ENERGI**



**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
12 AGUSTUS 2017**

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan sehingga acara Seminar Nasional Energi Indonesia (SENENDO) 2017 dapat terlaksana dengan baik, pada tanggal 12 Agustus 2017. SENENDO merupakan seminar tahunan Pusat Studi Energi Universitas Atma Jaya (PSE-UAJY), yang diselenggarakan sejak tahun 2014, dengan tujuan:

1. Menyumbangkan gagasan melalui penelitian yang berkaitan dengan penggunaan sumber daya energi alternatif untuk menggantikan sumber daya energi yang tidak terbarukan.
2. Mengevaluasi dan memberikan solusi terhadap permasalahan energi skala nasional.
3. Mensosialisasikan dan menggalakkan pengaplikasian TIK dalam pengelolaan energi
4. Meningkatkan partisipasi masyarakat umum dan akademisi dalam mengembangkan dan mengoptimalisasikan penggunaan energi alternatif yang ada di sekitar kita.

Masalah keamanan dan kemandirian energi belum banyak mendapat perhatian baik oleh pengguna energi, yaitu masyarakat, kalangan industri, dan instansi-instansi pemerintah. Pemerintah sebenarnya sudah berupaya untuk menyusun kebijakan untuk menjaga keamanan energi dan menuju kemandiria energi. Namun implentasinya masih jauh dari yang diharapkan. Kondisi ini bisa tercemin dari perilaku dari individu-individu pengguna energi yang cenderung boros dan tidak memperhatikan konservasi energi.

Dewasa ini peran Teknologi, Informasi dan Komunikasi (TIK) telah merambah di semua aspek kehidupan. Bagaimanakah peran TIK dalam pengelolaan energy, sehingga kita bisa mencapai kemandirian?

Masalah inilah yang diangkat dalam SENENDO tahun ini, dengan mengambil tema “Peran Teknologi, Informasi dan Komunikasi dalam Mendukung Kemandirian Energi”. Seminar diawali dengan dua pembicara kunci, yaitu: Dr. Ir. Meiditomo Setyarjoko, M.Sc (Kepala Divisi Satelit BRI) dan Dr. Ir. Albertus Joko Santoso, M.T. (Ketua PSE-UAJY & Dosen Magister Teknik Informatika UAJY). Selain itu, kami menerima tujuh naskah penelitian/pemikiran yang akan disampaikan dalam bentuk presentasi oral dan naskah lengkapnya dicetak dalam proseding ini.

Kami sampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya atas kesediaan para pembicara untuk membagikan ilmu dan pengetahuannya dalam seminar ini. Terimakasih juga disampaikan pada seluruh panitia pelaksana, pengurus PSE-UAJY, dan LPPM, atas segala bentuk dukungannya sehingga SENENDO ini bisa terlaksana dengan lancar.

Kami berharap hasil seminar ini mempunyai kontribusi untuk tercapainya keamanan dan kemandirian energy di Indonesia.

Yogyakarta, 12 Agustus 2017

Ketua Panitia SENENDO 2017

Ir, Ign. Pramana Yuda, MSi., Ph.D.

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
ANALISA PERANCANGAN SISTEM POMPA AIR SOLAR PHOTOVOLTAIC DI DESA RAMBAT, GROBOGAN	1
INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA DARI KEGIATAN PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DENGAN METODE FIRST ORDER DECAY (FOD).....	7
PERBAIKAN IKE (INTENSITAS KONSUMSI ENERGI) DENGAN MENERAPKAN METODE PHE (PELUANG HEMAT ENERGI) PADA PENCAHAYAAN GEDUNG	11
<i>URBAN LOCAL ENERGY DEVELOPMENT</i> (ULED): MUNGKINKAH KOTA DI INDONESIA MENGEMBANGKAN ENERGI TERBARUKAN?.....	21
KINCIR ANGIN SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR 1kW	28
OPTIMALISASI GEDUNG PARKIR DI BANDAR UDARA MENGGUNAKAN.....	37
SISTEM SMART PARKING, STUDI KASUS BANDAR UDARA SULTAN AJI MUHAMMAD SULAIMAN SEPINGGAN, BALIKPAPAN	37
KARAKTERISTIK PENCAHAYAAN BUATAN PADA NONENGINEERED HOUSES DAN PENGARUHNYA TERHADAP POTENSI PENGHEMATAN ENERGI	44

ANALISA PERANCANGAN SISTEM POMPA AIR SOLAR PHOTOVOLTAIC DI DESA RAMBAT, GROBOGAN

Harmini¹⁾ Titik Nurhayati²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Semarang, Semarang Indonesia 50196
Jl. Soekarno Hatta Tlogosari, Semarang
Telp (024)6702757

²⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Semarang, Semarang Indonesia 50196
Jl. Soekarno Hatta Tlogosari, Semarang
Telp (024)6702757

E-mail : harmini@usm.ac.id , ttnur@usm.ac.id

ABSTRAK

Salah satu aplikasi PLTS adalah proses pengangkatan air atau pompa air yang biasa disebut dengan sistem pompa air solar photovoltaic (SPV). Pada penelitian ini melakukan analisa perancangan sebuah sistem pompa air menggunakan solar photovoltaic (SPV) yaitu menganalisa kebutuhan antara kebutuhan PV dengan kapasitas pompa air dan rancangan anggaran biaya. Salah satu daerah di wilayah Jawa Tengah yang belum mendapatkan sumber air meskipun sudah mendapatkan jaringan PLN adalah Dusun satreyan, RT.05 RW 01, Desa Rambat Kecamatan Geyer Kabupaten Grobogan. Pemilihan pompa air solar photovoltaic berdasarkan pada nilai debit aliran pompa, total head dan jumlah kerugian akibat panjang pipa dan fitting. Berdasarkan hasil survey didapatkan data debit aliran (Q) = 6 m³/jam, temperature air = 30oC, friction loss pipa dan peralatan = 0.99536 m, daya listrik yang diperlukan pompa air sebesar 500 Watt sedangkan daya pompa sebesar 0.669 HP, maka digunakan pompa air solar photovoltaic jenis PS 600 C dengan tipe pompa sentrifugal. Jumlah panel solar photovoltaic yang digunakan sebanyak 10 unit dengan kapasitas 130 Wp per unit.

Keywords: Pompa Air, Solar Photovoltaic, SPV. **Keywords:** waste, construction project, sustainability, deconstruction

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan sumber energi terbarukan yang sangat efektif dan ramah lingkungan karena tidak menimbulkan polusi. Sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya atau photovoltaic array (PV). Salah satu aplikasi PLTS adalah proses pengangkatan air atau pompa air yang biasa disebut dengan sistem pompa air solar photovoltaic (SPV)[Daoud,2010].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa perancangan sebuah sistem pompa air menggunakan solar photovoltaic (SPV) yaitu menganalisa kebutuhan antara kebutuhan PV dengan kapasitas pompa air. Penelitian ini perlu dilakukan karena masih banyak daerah di wilayah Jawa Tengah yang belum mendapatkan sumber air yang layak dan jauh dari jangkauan jaringan listrik. Daerah-daerah tersebut terletak pada daerah pegunungan atau daerah terpencil. Salah satu daerah di wilayah Jawa Tengah yang belum mendapatkan sumber air meskipun sudah mendapatkan jaringan PLN adalah Dusun satreyan, Desa Rambat Kecamatan Geyer Kabupaten Grobogan. Desa Rambat merupakan daerah perbukitan yang berada disekitar waduk Kedung Ombo Kabupaten Grobogan. Sumber air atau sungai berada dibawah rumah tempat tinggal warga sehingga untuk mendapatkan air keperluan sehari-hari, warga harus memompa air tersebut keatas. Kondisi saat ini sudah terdapat sumur didaerah dekat sungai dengan kedalaman sumur 3 sampai dengan 4 meter, kemudian dipompa untuk dialirkan ke rumah-rumah warga.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa kebutuhan penggunaan PV untuk memompa air pada sumur yang sudah dibangun oleh warga desa Rambat. Hasil analisa perancangan diharapkan mampu menjadi acuan untuk aplikasi yang sebenarnya yaitu kesesuaian antara kebutuhan energy dengan kualitas PV dan investasi yang harus dikeluarkan.

1.2. Kontrol Pompa Air Solar *Photovoltaic*

Komponen yang paling penting pada sistem pompa air *solar photovoltaic* adalah desain pompa air yang digunakan. Pompa air *solar photovoltaic* didesain menggunakan sumber energi dari matahari yang sangat efisien. Pompa air konvensional memerlukan sumber tegangan AC yang stabil baik dari jaringan PLN maupun dari generator. Pompa air *solar photovoltaic* menggunakan sumber DC dari baterai atau dari panel surya serta dirancang memiliki efisiensi yang tinggi pada saat kondisi radiasi matahari rendah. Pompa air *solar photovoltaic* beroperasi pada tegangan 12 sampai dengan 36 volt DC.

Fungsi utama kontroler pompa di dalam sebuah baterai sistem pemompaan adalah untuk menaikkan tegangan baterai agar sesuai dengan tegangan masukan pompa (Eker, 2013). Kontroler pompa yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem MPPT dimana sistem MPPT akan mencari daya optimum keluaran panel surya untuk menstabilkan putaran motor atau pompa dengan mengatur kombinasi tegangan dan arus PV, sehingga meskipun sumber tegangan dari sinar matahari tidak stabil, air akan tetap mengalir dari pompa secara stabil.

Teori pompa air solar *photovoltaic* meliputi perhitungan luas panel surya yang akan digunakan, ukuran baterai, energi yang dihasilkan per hari dan daya yang dikonsumsi oleh pompa air (Oi, 2002, Jenkins, 2013). Perhitungan-perhitungan tersebut ditunjukkan pada persamaan matematis seperti persamaan 1 sampai persamaan 4 (Jenkins, 2013). *Photovoltaic* digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari matahari, luas panel yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$Panel\ area(m^2) = \frac{[Load]}{\eta_{module} \times \eta_{battery} \times [Solar\ Insolation]} \quad (1)$$

Dimana [Load] adalah kapasitas pompa yang digunakan sebagai beban (Watt), η_{module} adalah efisiensi modul sel surya, $\eta_{battery}$ adalah efisiensi baterai dan [solar insolation] adalah irradiansi matahari (W/m²).

Kapasitas baterai yang diperlukan ditunjukkan pada persamaan (2).

$$Battery\ Size\ (Ampere \times Hour) = \frac{(AH_d)(n_d)}{(DOD)(C_T)(\eta)} \quad (2)$$

Dimana (AH_d) adalah total ampere per jam yang diperlukan, n_d adalah jumlah hari yang diperlukan untuk pengisian secara otomatis, umumnya 1-5 hari tergantung dari kondisi cuaca, DOD (Depth of Discharge) 85% untuk deep cycle batteries, 50% untuk shallow discharge batteries.

Daya (P) keluaran panel surya dihitung dengan mengalikan antara tegangan (V) dan arus (I) setelah diberi beban seperti ditunjukkan pada persamaan (3) (Hart, 2010).

$$P = V \times I \quad (3)$$

Daya yang dikonsumsi oleh pompa air ditentukan oleh persamaan (4).

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta_o} \quad (4)$$

Energy hidrolik (E_{hydr}) dalam Joule berhubungan dengan ketinggian air (h) dalam meter dan volume air (Q) dalam meter kubik per detik. Besarnya energy hidrolik ditunjukkan pada persamaan (5).

$$E_{hydr} = 86400 \times \rho \times g \times Q \times h \times (1 + \eta_f) \quad (5)$$

Dimana g adalah kecepatan gravitasi bumi (9.81 m/s²), ρ adalah massa jenis air (1000 kg/m³) dan η_f adalah koefisien friksi pada pipa.

Energy hidrolik dikonversikan kedalam energi listrik yang diperlukan oleh pompa, besarnya energi yang diperlukan oleh pompa air (E_{pump}) ditunjukkan pada persamaan (6).

$$E_{pump} = \frac{E_{hydr}}{\eta_{pump}} \quad (6)$$

Dimana η_{pump} adalah efisiensi pompa air, jika pompa air yang digunakan adalah pompa air AC maka harus dikalikan dengan faktor efisiensi inverter η_{inv} , sehingga energy yang diperlukan oleh pompa air seperti ditunjukkan pada persamaan (7).

$$E_{\text{pump}} = \frac{E_{\text{hydr}}}{\eta_{\text{pump}} \times \eta_{\text{inv}}} \quad (7)$$

Energy yang di hasilkan antara pompa air dengan PV array ditunjukkan pada persamaan (8).

$$E_{\text{dlvd}} = \eta_{\text{pump}} \min(E_{\text{pump}}, E_A) \quad (8)$$

Dimana E_A adalah energy yang disediakan oleh PV array, sehingga air yang dihasilkan adalah seperti persamaan (9).

$$Q_{\text{dlvd}} = \frac{E_{\text{dlvd}}}{86400 \times \rho \times g \times Q \times h (1 + \eta_f)} \quad (9)$$

Diameter pipa dan kecepatan aliran merupakan dua parameter yang selalu ada dalam sistem pemompaan. Persamaan (10) digunakan untuk menghitung parameter diameter pipa dan kecepatan aliran (Aligah, 2011).

$$D_i = 3.9 \times Q_F^{0.45} \rho^{0.13} \quad (10)$$

Dimana, D_i adalah diameter dalam pipa mm atau inch, Q adalah kapasitas / Debit aliran dalam m³/jam atau liter/menit dan ρ adalah jenis fluida dalam kg/m³

Friction Loss pipa dan fitting disebabkan gesekan antara air didalam permukaan pipa dan fitting, sehingga menimbulkan gaya gesek, inilah yang menyebabkan hambatan pada tekanan pompa, besarnya friction loss tergantung dari jenis material yang digunakan, diameter pipa dan panjang pipa. Pendekatan metode Hazen William digunakan untuk menentukan besarnya friction loss seperti ditunjukkan pada persamaan (11).

$$H_f = H_L \times L_{\text{pipa}} \quad (11)$$

$$H_L = \left(\frac{3.35 \times 10^6 \times Q}{d^{2.63} \times C} \right)^{1.852} \quad (12)$$

Dimana $H_{\text{f pipa}}$ adalah Friction Loss pipa dalam meter, L_{pipa} adalah panjang pipa dalam meter, H_L adalah Head Loss pipa dalam m/100m, Q adalah debit pompa dalam liter/detik, d adalah diameter pipa dalam mm atau inch dan C adalah konstanta Hazen William

Total head pompa adalah kemampuan tekanan maksimum pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air/fluida dari satu tempat ke tempat yang lainnya.

$$H_{\text{Total}} = H_{\text{pipa}} + H_{\text{fitting}} + H_{\text{sf}} + H_g \quad (13)$$

Dimana H_{pipa} adalah friction loss pipa, H_{fitting} adalah friction loss fitting, H_{sf} adalah Safety factor head dan H_g adalah Geodetic head

Daya yang dibutuhkan pompa ditunjukkan pada persamaan (14) dan (15).

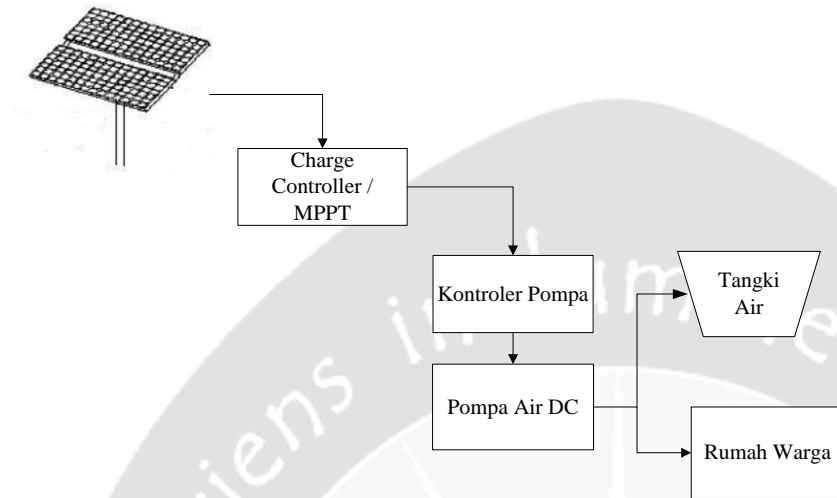
$$P = \frac{Q H \rho}{367 \times \eta} \quad (14)$$

$$P = \frac{Q H r}{270 \times h} \quad (15)$$

Dimana P adalah daya dalam satuan W atau HP, Q adalah debit air atau kapasitas aliran m³/jam, H adalah Total Head katalog pompa dalam meter, ρ adalah berat jenis fluida kg/m³ dan η adalah efisiensi dalam persen

1.3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini menitikberatkan pada analisa perancangan pompa air yang digerakkan oleh solar photovoltaic agar sesuai antara kebutuhan panel surya, pompa air dan debit air. Blok diagram perencanaan sistem pompa air menggunakan solar photovoltaic terdiri dari panel PV, baterai sebagai sistem penyimpanan dan pompa air DC sebagai beban.



Gambar 1. Blok Diagram sistem pompa air *solar photovoltaic*

2. PEMBAHASAN

2.1. Kondisi Masyarakat Sekitar

Dusun Satreyan RT 05 RW 01, Desa Rambat Kecamatan Geyer Kabupaten Grobogan merupakan daerah yang terletak pada perbukitan Kedung Ombo. Daerah ini terletak diatas aliran sungai uter yang merupakan salah satu sungai terpanjang pemasok air bendungan Kedung Ombo. Aliran air sungai tersebut dijadikan sebagai sumber air bagi masyarakat dusun Satreyan untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari seperti masak, mandi dan MCK. Aliran sungai tersebut dianggap kurang memenuhi standart kebersihan sehingga warga secara swadaya membangun sumur untuk dipakai sebanyak 34 KK (Kepala Keluarga). Saat ini terdapat 2 sumur yang dipompa dan dialirkan ke rumah-rumah warga. Perencanaan sistem pompa air ini menggunakan solar *photovoltaic* karena pada daerah tersebut mendapatkan radiasi matahari yang cukup tinggi yaitu 400 W/m² sd 800 W/m² secara menerus mulai jam 9.00 sd jam 16.00. Kondisi sumur ditunjukkan pada Gambar 2. Analisa perencanaan pompa air menggunakan *solar photovoltaic* meliputi analisa kebutuhan air, analisa kapasitas pompa air, analisa jumlah *solar photovoltaic* yang harus terpasang dan analisa kebutuhan pipa untuk mendistribusikan air tersebut ke warga.



Gambar 2. Kondisi Sumur

2.2. Analisa Kebutuhan Air

Masyarakat Dusun Satreyan diasumsikan sebagai masyarakat dengan kebutuhan air untuk rumah tangga kelas menengah kebawah. Setiap rumah tangga atau 1 KK terdiri dari 7 orang dengan asumsi sebagai berikut:

- Suami istri : 2 Orang
- Anak : 3 orang
- Saudara : 2 orang (Kakek atau Nenek)

Berdasarkan SNI no 03-7065-2005 bahwa kebutuhan air per orang per hari adalah 60 – 100 Liter/hari untuk daerah dengan penduduk antara 3.000 sd 20.000 jiwa. Diasumsikan kebutuhan air per orang per hari adalah 100 Liter/Orang/hari. Jika 1 KK terdiri dari 7 orang maka jumlah kebutuhan air setiap per KK adalah $7 \times 100 \text{ Liter} = 700 \text{ Liter/hari}$. Total kebutuhan air untuk warga dusun Satreyan adalah $34 \text{ KK} \times 700 \text{ Liter/Hari} = 24.800 \text{ Liter/Hari}$ atau dibulatkan menjadi $25.000 \text{ Liter/hari} = 25 \text{ m}^3/\text{hari}$.

Kapasitas Rooftank yang digunakan adalah 30.000 liter atau masing-masing 30 m^3 . Waktu pengisian Rooftank 300 menit, sehingga kapasitas pompa yang harus dipasang adalah $30.000 \text{ Liter/hari dibagi } 300 \text{ menit} = 100 \text{ Liter per Menit (Lpm)}$.

2.3. Analisa Kapasitas Pompa Air

Analisa kapasitas pompa digunakan untuk menentukan jenis pompa. Hal yang harus diperhatikan adalah selisih ketinggian antara sumber air dengan tandon air yang biasa disebut dengan head pompa. Head pompa ditentukan dengan menghitung nilai head total. Jika diketahui debit aliran (Q) = 100 Liter/menit atau $6 \text{ m}^3/\text{jam}$, fluida yang dialirkan adalah air dengan massa jenis (ρ) = 1000 kg/m^3 , maka di dapatkan perhitungan nilai Debit aliran (Q) = $6 \text{ m}^3/\text{jam}$, dengan temperature air = 30°C , friction loss pipa dan peralatan = 0.99536 m. Daya listrik yang diperlukan pompa air sebesar 500 Watt sedangkan daya pompa sebesar 0.669 HP. Dari data-data tersebut diatas maka dipilih pompa air untuk solar photovoltaic jenis PS 600 C dengan tipe pompa sentrifugal.

2.4. Analisa Kebutuhan Panel Solar Photovoltaic

Daya listrik yang diperlukan untuk pompa air adalah 500 Watt, jika dalam sehari pompa air bekerja mulai jam 05.00 sampai dengan 17.00 atau 12 jam per hari maka daya yang diperlukan dalam satu hari sebesar $500 \text{ Watt} \times 12 \text{ Jam} = 6.000 \text{ Wh (Watt Hour)}$. Panel surya yang dipakai adalah tipe NS-F 130G5 dengan daya keluaran sebesar 130 Watt. Luas solar photovoltaic yang diperlukan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.2. Load adalah kapasitas pompa yang digunakan sebagai beban yaitu sebesar 6.000 Watthour. Solar Insolation adalah irradiasi matahari pada daerah dusun satreyan, Desa Rambat Kec Geyer Grobogan sebesar 400 W/m^2 sampai 800 W/m^2 , dengan mengasumsikan irradiasi matahari adalah 800 W/m^2 dan efisiensi modul photovoltaic sebesar 75 % maka luas panel solar photovoltaic adalah sebagai berikut:

$$\text{Panel area(m}^2\text{)} = \frac{[\text{Load}]}{\eta_{\text{module}} \times \eta_{\text{battery}} \times [\text{SolarInsolation}]}$$

$$\text{Panel area(m}^2\text{)} = \frac{6.000 \text{ Watt}}{75 \% \times 800 \text{ W/m}^2}$$

$$\text{Panel area(m}^2\text{)} = 10 \text{ m}^2$$

Berdasarkan perhitungan luas panel surya adalah 10 m^2 .

Jumlah kebutuhan panel solar photovoltaic dapat ditentukan berdasarkan pada daya yang dihasilkan oleh panel solar photovoltaic, jika panel yang digunakan sebesar 130 Wp, maka jumlah panel adalah:

$$\frac{6.000 \text{ Wh}}{130 \text{ Wp}} = 46,15$$

Jika dalam satu hari lama penyinaran maksimum diasumsikan pada jam 09.00 sd 14.00 atau sekitar 5 jam maka jumlah panel solar photovoltaic adalah:

$$\text{jumlah panel} = \frac{46.15}{5} = 9.23 \text{ lembar}$$

Jumlah panel solar photovoltaic yang dipakai dibulatkan menjadi 10 Lembar, sehingga listrik yang dihasilkan perjam adalah $10 \text{ unit} \times 130 \text{ Wp} = 1300 \text{ Watt per jam}$

3. KESIMPULAN

Dari data – data survey dan analisa hasil survey diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit air pada sumur dengan kedalaman 4 meter di daerah Dusun Satreyan Desa Rambat sebesar 100 Liter/menit atau setara 6 m³/jam.
2. Pemilihan pompa air solar *photovoltaic* berdasarkan pada nilai debit aliran pompa, total *head* dan jumlah kerugian akibat panjang pipa dan *fitting*.
3. Debit aliran (Q) = 6 m³/jam, temperature air = 30°C, *friction loss* pipa dan peralatan = 0.99536 m, daya listrik yang diperlukan pompa air sebesar 500 Watt sedangkan daya pompa sebesar 0.669 HP, maka digunakan pompa air solar *photovoltaic* jenis PS 600 C dengan tipe pompa sentrifugal.
4. Jumlah panel solar *photovoltaic* yang digunakan sebanyak 10 unit dengan kapasitas 130 Wp per unit.

PUSTAKA

- A, Daoud dan A, Midoun, 2010, "Maximum power point tracking techniques for solar water pumping system" Revue des Energies Renouvelables Vol.13 No 3 pp.497-507.
- Akhiro Oi, 2002, "Design and simulation of photovoltaic water pumping system," presented to the Faculty of California Polytechnic State University.
- B.Eker (2005), Solar Powered Water a Pumping System. Trakia Journal of Sciences, Vol.3, No.7, pp 7-11, 2005.
- Czarkowski, Dariusz, 2007, "DC-DC Converter in Power Electronic Handbook" Editing by Rashid, Muhammad H, University of Florida, chapter 13.
- Espinoza.H. R Jose, 2007 "Inverters" in Power Electronic Handbook editing by Rashid, Muhammad H, University of Florida.
- Hart, Daniel W, 2010 "Power Electronics", Mc Graw Hill.
- Khalid.S, Dwiwedi, Bharti, 2010 "Power Quality: An Important Aspect" International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.2(11), 2010, 6485-6490. Agilent AN 1273 "Compliance Testing to the IEC 1000-3-2 (EN 61000-3-2) and IEC 1000-3-3 (EN 61000-3-3) Standard.
- M.Abu-Aligah (2011), "Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered pump". Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Volume 5, Number 3 June 2011, ISSN 1995-6665, pages 273-280.
- P.Andrada and J.Castro 2012, "Solar photovoltaic water pumping system using a new linear actuator", GAECE, Grup d' Accionaments Electric amb Commutacio Electronica.
- Roslan, Rosaidi Bin, 2009, "A maximum Power Point Tracking Converter For Photovoltaic Application" Solarex. "MSX-60 and MSX-64 Photovoltaic Module", USA, 1998
- Thomas Jenkins (2013) Designing Solar Water Pumping Systems for Livestock". College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- Zaini, Razali (2013), Analisa pemanfaatan pompa air tenaga surya untuk pengembangan irigasi air tanah, Jurusan Teknik Mesin, politeknik Negeri Lhokseumawe

INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA DARI KEGIATAN PENGOLAHAN LIMBAH PADAT DENGAN METODE FIRST ORDER DECAY (FOD)

Affan Irfan Fauziawan

Program Studi Sistem Komputer, STIMIK STIKOM Bali

Jl. Raya Puputan No 86 Renon - Denpasar

Telp (0361) 244445

e-mail: fauziawan@yahoo.com

ABSTRAK

Pemanasan global telah menjadi persoalan serius dalAam abad ke-21 karena menimbulkan perubahan iklim yang disebabkan oleh gas rumah kaca (GRK). Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah serius untuk mengatasinya, yaitu dengan terbitnya Peraturan Presiden Nomor 71 Tahun 2011 Tentang Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi emisi GRK dari sektor limbah padat di Kabupaten Karangasem, Bali. Inventarisasi GRK di sektor limbah padat tingkat kabupaten ini perlu dilakukan, untuk mengetahui estimasi emisi GRK yang dihasilkan. Dengan mengetahui estimasi emisi GRK yang dihasilkan, maka dapat dijadikan acuan untuk melakukan aksi-aksi mitigasi yang dapat mengurangi emisi yang dihasilkan tersebut. Pada penelitian ini, menggunakan metode First Order Decay (FOD) yang terdapat dalam IPCC 2006 GL. Dari hasil penelitian diketahui bahwa TPA di kabupaten Karangasem masih bersifat open dumping. Jumlah sampah (limbah padat) yang masuk ke TPA tahun 2015 adalah 43.212 m³, mengalami kenaikan dari jumlah sampah tahun-tahun sebelumnya. Jenis-jenis sampah yang masuk ke TPA (fraksi berat) yaitu sampah makanan, sampah kertas, sampah taman, sampah kain tekstil, sampah kayu, dan sampah kulit/karet. Berdasarkan hasil perhitungan, estimasi besarnya emisi GRK sektor limbah padat yang dihasilkan di kabupaten Karangasem, tahun 2015 emisi yang dihasilkan sebesar 9.153 ton CO₂e/tahun..

Kata Kunci: Pemanasan global, Perubahan iklim, Emisi GRK, Limbah padat, IPCC.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim telah menjadi persoalan global dan untuk mengatasinya melibatkan berbagai negara dan berbagai disiplin ilmu. Dampak perubahan iklim mulai dirasakan di berbagai belahan bumi. Peningkatan temperatur udara dan peningkatan permukaan air laut sebagai dampaknya, sudah memberikan ancaman bagi kehidupan, terutama bagi ekosistem pesisir yang beresiko mengalami banjir dan erosi. Perubahan iklim mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, antara lain aspek lingkungan, aspek sosial ekonomi, aspek kesehatan, serta aspek lainnya. Gas rumah kaca (GRK) merupakan gas di atmosfer yang berfungsi menyerap radiasi infra merah dan ikut menentukan suhu atmosfer. Adanya berbagai aktivitas manusia, khususnya sejak era pra-industri, menyebabkan emisi GRK ke atmosfer mengalami peningkatan yang sangat tinggi, sehingga meningkatkan konsentrasi GRK di atmosfer. Hal ini menyebabkan timbulnya masalah pemanasan global dan perubahan iklim.

1.2. Tinjauan Pustaka

Menurut Konvensi Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa tentang Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention on Climate Change/UNFCCC*), sistem iklim dalam hubungannya dengan perubahan iklim didefinisikan sebagai totalitas atmosfer, hidrosfer, biosfer, dan geosfer dengan interaksinya. Perubahan iklim terutama disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi CO₂ dan GRK lainnya seperti CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆. Dari semua jenis gas tersebut, GRK utama ialah CO₂, CH₄, dan N₂O. Dari ketiga jenis gas ini, yang paling banyak kandungannya di atmosfer ialah CO₂ sedangkan yang lainnya sangat sedikit sekali.

Pada Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Bumi di Rio de Janeiro tahun 2002, menghasilkan konvensi perubahan iklim dengan tujuan untuk menstabilisasi konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang tidak membahayakan sistem iklim. Respon yang dilakukan pemerintah Indonesia di dalam menanggapi isu perubahan iklim dan pemanasan global tertuang dalam Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK). RAN-GRK yang diprogramkan oleh pemerintah merupakan gabungan dari RAD-GRK (Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca). Pada Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) yang diselenggarakan pada tahun 2015 di Paris (COP 21 Paris), menghasilkan beberapa pokok-pokok Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*) diantaranya yaitu adanya kesepakatan dari masing-masing negara peserta untuk membatasi kenaikan suhu global dibawah 2°C dari tingkat pre-industri dan

melakukan upaya untuk membatasinya hingga dibawah 1,5°C. Selain itu setiap negara didorong untuk mendukung pendekatan kebijakan dan insentif positif untuk aktivitas penurunan emisi.

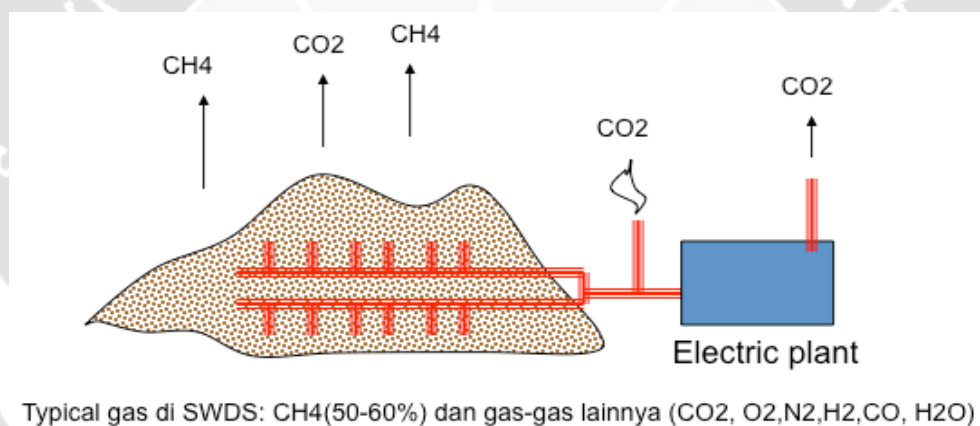
Penelitian ini menjadi penting untuk dibahas karena hal tersebut tertuang dalam Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK Nasional. Pada penelitian ini akan dihitung besarnya estimasi emisi GRK dari sektor limbah (sampah). Berdasarkan IPCC 2006, sumber emisi GRK pengolahan limbah mencakup Tempat Pembuangan Akhir (TPA) limbah padat, Unit pengomposan, Incenerator dan Unit Pengolahan limbah *clinical waste* dan *hazardous waste*.

Limbah padat yang umumnya dibuang di TPA/SWDS adalah sampah padat domestik (sampah kota) atau *municipal solid waste* (MSW) dari rumah tangga, komersial, kantor, pasar, industri. MSW stream yang bersumber dari kegiatan domestik di rumah tangga, perkantoran, pasar, sektor komersial (mall, pertokoan, restoran, hotel, dll), dan industri umumnya dibawa ke TPS lalu ke TPA. Di TPS limbah padat-limbah padat tersebut dapat bercampur satu sama lain sebelum dibawa ke TPA. Sebagian besar adalah sampah organik (50 – 80%) yang didominasi oleh sampah makanan (Meidiana & Gamse, 2010). Sedangkan komponen limbah padat yang memiliki nilai ekonomi tinggi akan diambil oleh pemulung mulai sumbernya maupun di TPS dan di TPA.

1.3. Metodologi Penelitian

Metodologi Perhitungan Emisi GRK Limbah Padat di TPA

Limbah padat yang ditumpuk di TPA merupakan salah satu sumber emisi GRK (gas methane) yang dihasilkan dari proses dekomposisi bakterial komponen organik yang *biodegradable* yang terjadi dalam kondisi anaerobik. Proses pembentukan *landfill gas* (LFG) dari pengolahan limbah padat di TPA disampaikan pada gambar berikut:



Gambar 1. Proses pembentukan *landfill gas* (LFG)

Penentuan Metodologi

Terdapat 2 (dua) metode untuk penentuan emisi methane (CH₄) dari TPA, yaitu metode Neraca Massa dan Metode *First Order Decay* (FOD). Metode penghitungan FOD ini lebih akurat karena bisa sampai menghitung *Methane Recovery*, dimana methane yang dihasilkan oleh limbah padat di TPA bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik yang ramah lingkungan. (Zurbrugg C dkk, 2012)

Berdasarkan metode FOD, total emisi gas CH₄ pada tahun T adalah total gas CH₄ yang terbentuk pada tahun T dikoreksi dengan besarnya gas CH₄ yang di-*recovery* untuk dimanfaatkan atau dibakar untuk keamanan.

$$\text{Emisi CH}_4 \text{ tahun T, Ggram} = [\sum_x \text{CH}_4 \text{generated}_{x,t} - R_T] \cdot (1 - \text{OX}_T) \quad (1)$$

Dimana :

T = tahun inventarisasi

X = tipe atau jenis limbah

R_T = CH₄ yang di-*recovery* untuk dimanfaatkan atau di bakar pada tahun T, Ggram

OX_T = faktor oksidasi pada tahun T, fraksi

CH₄ generated_{x, T} = CH₄ yang terbentuk pada tahun T hasil dekomposisi komponen organik jenis tertentu (x) yang tersimpan di dalam limbah padat (DDOC).

Salah satu karakteristik limbah padat yang menentukan laju pembentukan emisi gas metana adalah DOC. DOC adalah karakteristik yang menentukan besarnya gas CH₄ yang dapat terbentuk pada proses degradasi komponen

(karbon) organik yang ada pada limbah. Pada limbah padat padat kota, DOC limbah padat *bulk* diperkirakan berdasarkan komposisi (% berat) limbah padat dan DOC masing-masing komponen limbah padat.

$$DOC = \sum_i (DOC_i * W_i) \quad (2)$$

Dimana :

DOC = fraksi *degradable organic carbon* pada limbah padat *bulk*, Ggram C/Gram limbah padat

DOC_i= fraksi *degradable organic carbon* pada komponen limbah padat i (basis berat basah)

W_i = fraksi komponen limbah padat jenis i (basis berat basah)

i = komponen limbah padat (misal limbah padat makanan, kertas, kayu, dan lain-lain).

DOC_i dalam basis berat basah dapat dihitung dari DOC_i dalam basis berat kering dikalikan dengan kandungan bahan kering sebagaimana pada persamaan berikut :

$$DOC_{i(wet)} = DOC_{i(dry)} \times \text{kandungan bahan kering komponen i} \quad (3)$$

Kandungan bahan kering adalah fraksi (%) berat kering suatu komponen sampah basah, yang dihitung berdasarkan rasio berat kering terhadap berat basah komponen sampah. Kandungan bahan kering ditentukan dengan pendekatan gravimetry (penimbangan berat sampel yang representatif) dan dilakukan untuk setiap jenis komponen sampah yang dianggap memiliki kandungan air.

2. PEMBAHASAN

Pengolahan limbah padat (sampah) di TPA Kab. Karangasem merupakan TPA tipe *open dumping*. Berdasarkan hasil survey yang dilakukan ke Dinas Lingkungan Hidup dan Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kabupaten Karangasem, diperoleh hasil bahwa jumlah sampah yang terangkut ke TPA dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2015 dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel 1 Berat Sampah yang masuk ke TPA

Tahun	Volume Sampah (m ³)	Berat (ton)
2010	37.419	12.984
2011	39.454	13.691
2012	40.601	14.089
2013	41.745	14.486
2014	42.786	14.847
2015	43.212	14.995

Dari hasil perhitungan emisi GRK menggunakan persamaan (1), maka besarnya emisi yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Emisi yang dihasilkan dari TPA Kab.Karangasem

Tahun	Emisi GRK yang dihasilkan			
	Satuan			
2010	0	ton CH ₄	0	ton CO ₂
2011	139	ton CH ₄	2.918	ton CO ₂
2012	245	ton CH ₄	5.138	ton CO ₂
2013	325	ton CH ₄	6.815	ton CO ₂
2014	387	ton CH ₄	8.117	ton CO ₂
2015	436	ton CH ₄	9.153	ton CO ₂



KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa emisi karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan di Kabupaten Karangasem dari sektor limbah padat perkotaan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Emisi yang dihasilkan pada tahun 2011 sebesar 2.918 ton CO₂e dan pada tahun 2015 meningkat menjadi 9.153 ton CO₂e. Hal ini disebabkan karena jumlah sampah yang masuk ke TPA Kabupaten Karangasem juga semakin meningkat dari tahun 2011 sebesar 39.454 m³ menjadi 43.212 m³ di tahun 2015. Peningkatan jumlah sampah di TPA ini juga dipengaruhi oleh jumlah penduduk yang semakin meningkat dari 438.475 jiwa pada tahun 2001 menjadi 471.820 jiwa di tahun 2015. Dengan mengetahui inventarisasi emisi GRK ini, maka diharapkan para *stakeholder* dapat mengambil langkah nyata untuk mengurangi emisi GRK tersebut. Hal ini dikarenakan semakin besar emisi GRK yang dihasilkan, maka hal tersebut dapat memicu terjadinya pemanasan global (*global warming*). Faktor yang mempengaruhi pada perhitungan estimasi emisi GRK diantaranya yaitu komposisi sampah dan kandungan bahan kering (*dry matter content*). Pada penelitian ini, data keduanya masih menggunakan data *default* IPCC2006, dikarenakan belum adanya penelitian atau survey tentang komposisi sampah dan kandungan bahan kering tersebut di Kabupaten Karangasem. Seiring dengan Perpres No 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi GRK dan Perpres No 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Emisi GRK Nasional, maka diharapkan untuk selanjutnya diadakan penelitian/survey tentang komposisi sampah dan kandungan bahan kering di TPA Kabupaten Karangasem, sehingga proses pelaporan perhitungan emisi GRK kabupaten ini akan naik dari Tier 1 menjadi Tier 2 bahkan bisa ke Tier 3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Karangasem. Karangasem Dalam Angka 2015.
- [2] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Karangasem. Status Lingkungan Hidup Daerah 2015.
- [3] Ebie Y., Kobayashi T (2014). *Development of Emissions Factor for the Decentralized Domestic Wastewater Treatment for the National Greenhouse Gas Inventory*. Journal of Water and Environment Technology. Vol. 12. No 1. 2014
- [4] Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. IPCC (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5- Waste*, National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES.
- [5] Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. IPCC (2008). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - A primer*. National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan: IGES.
- [6] Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Vol. 4.
- [7] MacRae G., Rodic L. (2015). *The Weak Link in Waste Management in Tropical Asia? Solid Waste Collection in Bali*. Journal of Habitat International. 50. 2015. 310-316
- [8] Salsabili A., Aghajani M., Saheri S., Ahmad Basri N.E. (2010). *Comprehensive Characteristics of Municipal Solid Waste Generated in the Faculty of Engineering, UKM*. World Academy of Science, Engineering and Technology. 70. 2010.
- [9] Zurbrugg C., Gfrerer M., Ashadi H., Brenner W., Kuper D. (2012). *Determinants of Sustainability in Solid Waste Management – The Gianyar Waste Recovery Project in Indonesia*. Journal of Waste Management. 32. 2012. 2126-2133.

A. Persiapan

Hal-hal yang dilakukan dalam tahap ini adalah :

- **Pertemuan Pendahuluan**

Merupakan pertemuan dengan pihak manajemen gedung dengan auditor untuk memperjelas tujuan dari kegiatan audit energi. Pihak auditor menyampaikan prosedur audit sedangkan pihak manajemen menyampaikan permasalahan umum kondisi kelistrikan dan konsumsi energi (Prihandita, 2013).

- **Initial Walkthrough Tour**

Merupakan observasi awal dengan berjalan mengelilingi gedung yang akan diaudit, sehingga auditor dapat mengetahui lokasi peralatan, biasanya dilakukan bersamaan dengan wawancara.

- **Persiapan Alat**

Dalam pelaksanaan audit untuk mendapatkan data-data primer ataupun data sekunder, diperlukan beberapa peralatan untuk mendukung prosesnya. Peralatan digunakan untuk pengambilan data dengan cara mengukur beberapa data diantaranya intensitas penerangan, suhu ruangan, kelembaban, luas ruangan dan sebagainya.

B. Audit Energi Awal (*Preliminary Audit*)

Kegiatan audit energi awal meliputi pengumpulan data energi bangunan gedung dengan data yang tersedia dan tidak memerlukan pengukuran. Data yang dikumpulkan meliputi denah ruangan, daftar peralatan yang relevan seperti sistem pencahayaan, sistem tata udara, peralatan penunjang operasional, peralatan yang mengkonsumsi listrik, jadwal operasional fasilitas, serta data historikal pemakaian energi listrik total pada bangunan gedung dalam jangka waktu tertentu (rekening listrik).

Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung rincian luas bangunan gedung (m^2); konsumsi energi bangunan gedung pertahun ($kWh/tahun$); Intensitas Konsumsi Energi (IKE) bangunan gedung per tahun ($kWh/m^2/tahun$); biaya energi bangunan gedung (Rp/kWh) (Pratiwi, 2013). Besarnya konsumsi energi pada suatu bangunan akan ditunjukkan dalam konsumsi energi per satuan luas bangunan yang dikenal dengan Intensitas Konsumsi Energi (IKE). Sesuai dengan petunjuk teknis konservasi energi prosedur audit energi pada gedung, yang dikeluarkan oleh Direktorat Jendral Listrik dan Pengembangan Energi, persamaan umum untuk menghitung nilai IKE adalah sebagai berikut

$$IKE = \text{Jumlah konsumsi energi listrik (kWh)} / \text{luas area gedung (m}^2\text{)} \quad (1)$$

Setiap bangunan mempunyai standar IKE sesuai dengan fungsi bangunan tersebut. Berikut merupakan nilai Intensitas Konsumsi Energi standar suatu bangunan menurut Pedoman Konservasi Energi dan Pengawasannya di Lingkungan Departemen Pendidikan Nasional

Tabel 1. Kriteria IKE Bangunan Gedung

Kriteria	Konsumsi Energi Listrik Bulan	
	Gedung Ber-AC	Gedung tidak ber-AC
Sangat Efisien	4,17 7,92	-
Efisien	7,92	0,84 - 1,67
Cukup Efisien	12,08 14,58	1.67 - 2,5
Agak	14,58	-
Boros	19,17	2,5 - 3,34
Sangat Boros	23,75 37,5	3,34 - 4,17

C. Peluang Hemat Energi (PHE)

Peluang Hemat Energi (PHE) dapat diartikan sebagai cara yang mungkin dapat diperoleh dalam usaha mengurangi pemborosan energi. Secara umum faktor manusia jauh lebih berperan besar dalam pemborosan energi dibandingkan dengan faktor teknis. Agar efisiensi energi dapat berjalan maksimal, *Demand Side Management (DSM)* menjadi hal yang sangat ditekankan. Tingkat keberhasilan penggunaan energi secara efisien

sangat dipengaruhi perilaku, kebiasaan, kedisiplinan, dan kesadaran masyarakat akan pentingnya hemat energi. Selain efisiensi energi, cara lain yang dapat dilakukan adalah perawatan dan perbaikan peralatan listrik, dengan begitu pengendalian penggunaan energi dapat terpantau.

Jika peluang penghematan telah teridentifikasi, maka perlu adanya tindak lanjut dengan melakukan analisis peluang hemat energi dengan biaya yang harus dibayar untuk pelaksanaan rencana penghematan energi pada bangunan gedung tanpa mengurangi tingkat kenyamanan penghuni.

Analisa tersebut akan menghasilkan rekomendasi peluang hemat energi yang mencakup :

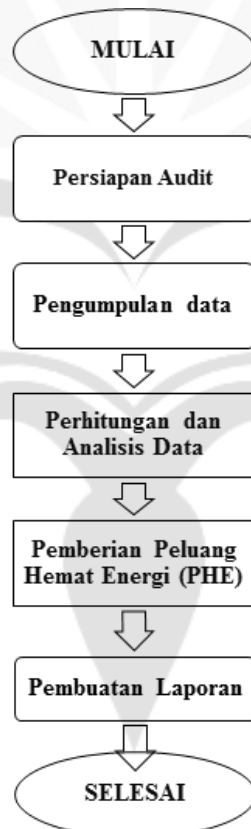
- Pengolahan energi termasuk program manajemen yang perlu diperbaiki, implementasi audit energi yang lebih baik, dengan cara meningkatkan kesadaran penghematan energi.
- Pemanfaatan energi dengan peningkatan efisiensi penggunaan energi tanpa biaya seperti mengubah prosedur, bisa juga melakukan perbaikan dengan investasi kecil ataupun besar. Dengan melakukan investasi ini, maka bisa menghitung berapa lama pengembalian nilai investasi tersebut, hal ini biasa disebut *payback period*.

Payback period = jumlah total invesasi (Rp) / keuntungan pertahun (Rp/tahun) (2)

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Peluang Hemat Energi (PHE) yang dilakukan dengan observasi dan pengukuran langsung. Dalam melakukan penelitian ini, tahapan-tahapan yang dilakukan disusun secara sistematis dan secara garis besar diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Peluang Hemat Energi (PHE) yang dilakukan dengan observasi dan pengukuran langsung. Dalam melakukan penelitian ini, tahapan-tahapan yang dilakukan disusun secara sistematis dan secara garis besar diagram alir penelitian ditunjukkan sebagai berikut



Gambar 1. Alur Penelitian

2. PEMBAHASAN

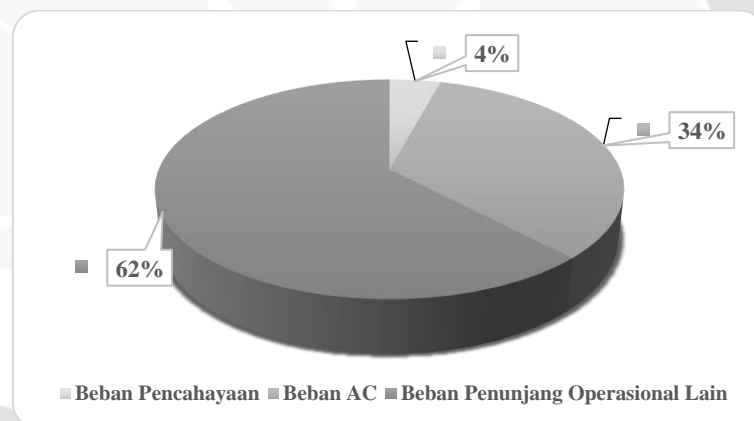
2.1. Profil Gedung



Gambar 2. Gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo Universitas Islam Indonesia

Gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo terletak di Jalan Kaliurang Km. 14,5 Yogyakarta. Gedung ini terdiri dari 4 lantai dengan luas 10.646,5 m², merupakan salah satu gedung milik Universitas Islam Indonesia yang sehari-harinya digunakan sebagai tempat perkuliahan dan gedung perkantoran oleh Fakultas Psikologi dan Ilmu Sosial Budaya serta Fakultas Kedokteran UII.

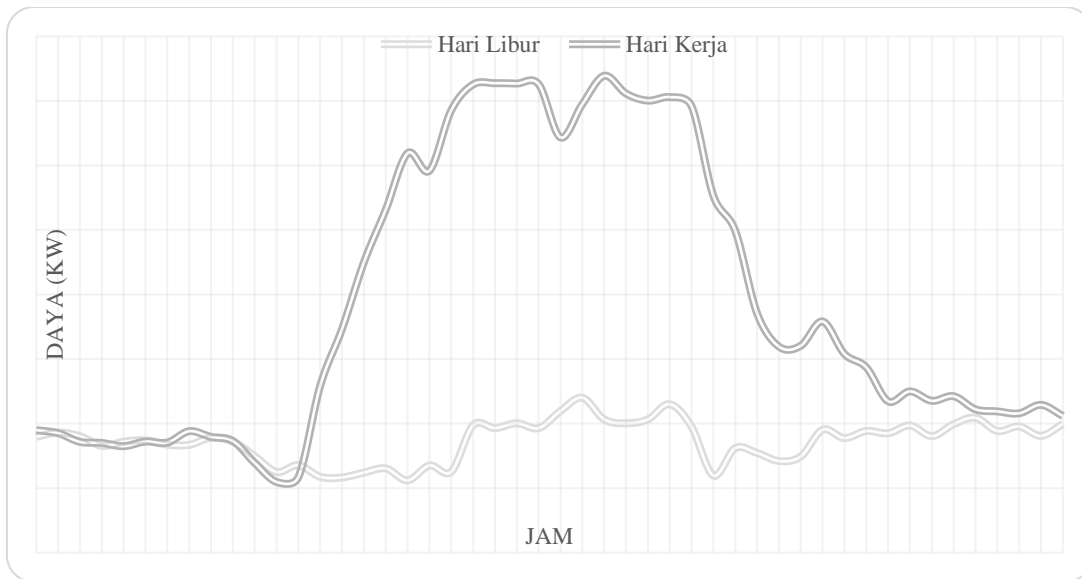
Setiap bulannya aktivitas di gedung tersebut rata-rata mengkonsumsi energi listrik sebesar 131.350,5 kWh. Penggunaan energi listriknya terbagi menjadi 3 yaitu untuk sistem pendingin udara, sistem pencahayaan serta peralatan penunjang operasional lain seperti TV, kulkas, printer, proyektor, komputer, dispenser, dan mesin fotocopy.



Gambar 3. Prosentase beban pada gedung Dr. Soekiman Wirjosand

Berdasarkan Gambar 3 beban yang paling banyak mengkonsumsi energi listrik adalah beban penunjang operasional lain, yaitu sebesar 132,245 kW (62%), untuk beban AC sendiri mengkonsumsi energi listrik sebesar 71,918kW (34%), beban pencahayaan mengkonsumsi energi listrik sebesar 9,016kW (4%) dari total kebutuhan daya sebesar 213,18 kW yang didapatkan dari total kapasitas daya terpasangnya yaitu 256 kVA.

Suplai daya utama pada gedung ini berasal dari sistem Tegangan Menengah 20 kV PLN yang disalurkan melalui *Medium Voltage Main Distribution Panel (MVMDP)*. Keluaran MVMDP diteruskan ke transformator (1600 kVA, 3 fasa), dari transformator menuju *Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP)* yang selanjutnya disalurkan ke masing-masing sub panel distribusi yang ada di tiap lantai. Selain itu, gedung ini juga disuplai oleh generator set (genset) berkapasitas 350 kVA. Suplai daya dari genset hanya digunakan sebagai cadangan apabila suplai daya dari PLN padam.

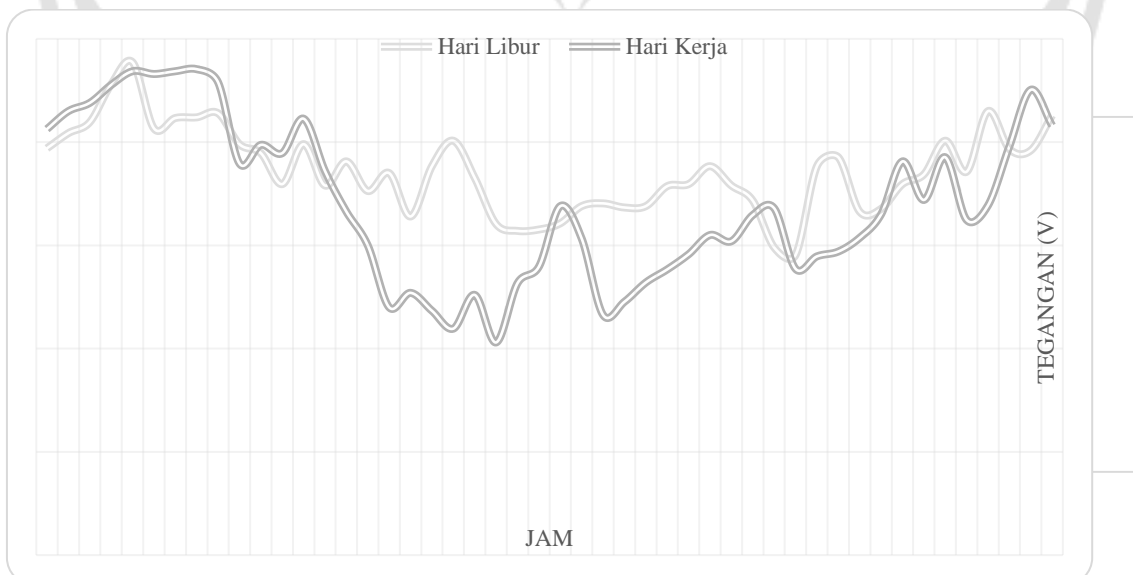


Gambar 4. Grafik Perbandingan Konsumsi Daya

Gambar 4 menunjukkan grafik perbandingan konsumsi daya pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo saat hari kerja (Senin - Sabtu) dan hari libur (Minggu). Konsumsi daya pada hari kerja ditunjukkan oleh grafik warna jingga dan untuk hari libur ditunjukkan oleh grafik warna biru. Terlihat pada saat hari kerja, konsumsi daya mengalami kenaikan mulai pukul 06.10 pagi, hal ini dikarenakan pada waktu tersebut merupakan waktu-waktu dimulainya kegiatan pada gedung tersebut, sehingga alat-alat yang mengkonsumsi energi listrik sebagai penunjang operasional mulai dinyalakan. Lonjakan ini berlangsung dan terus naik dari 20kW dan mencapai puncaknya sekitar 145,5kW pada pukul 10.10 pagi.

Pada sekitar pukul 12.10 siang terjadi penurunan yang dikarenakan pada waktu tersebut merupakan waktu istirahat. Penurunan penggunaan daya listrik terjadi mulai pukul 15.10 sore, hal ini dikarenakan pada waktu tersebut, aktivitas belajar mengajar dan kegiatan di beberapa ruangan sudah mulai berkurang.

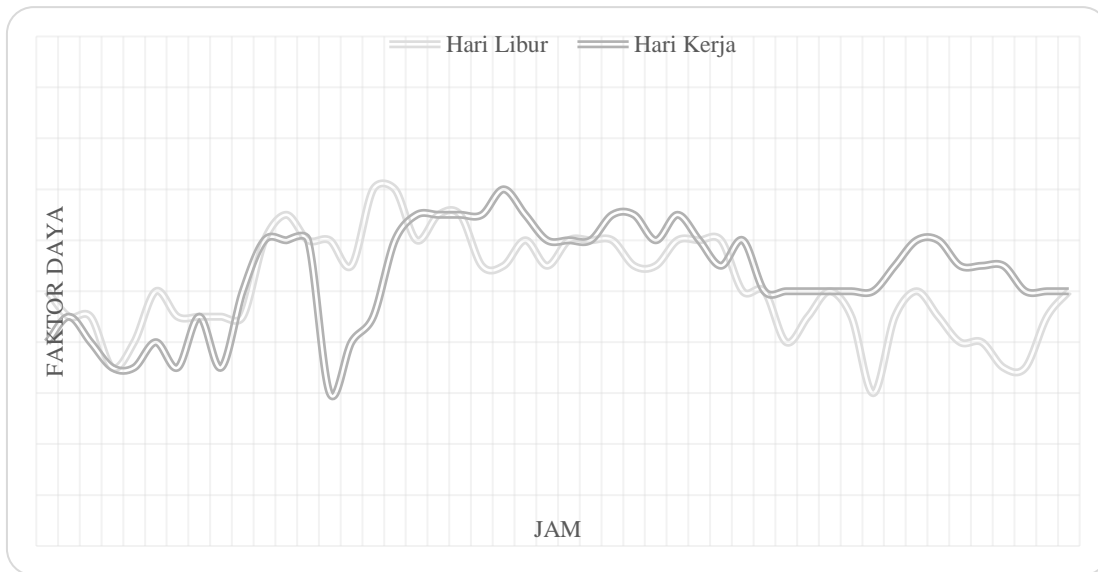
Pada hari libur (minggu) kenaikan dan penurunan terjadi hampir pada jam yang sama, namun kenaikan yang terjadi tidak sebesar pada hari kerja, hal ini dikarenakan meskipun saat hari libur, aktivitas dalam gedung tetap ada, namun di beberapa ruangan saja seperti auditorium, sehingga konsumsi daya listriknya tidak terlalu besar.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Tegangan

Pada Gambar 5 terlihat bahwa tegangan listrik pada hari libur (Minggu) cenderung lebih stabil dibandingkan hari kerja, hal ini dikarenakan pada saat hari libur, beban yang aktif tidak terlalu besar dibandingkan hari kerja, sehingga penurunan tegangan yang terjadi pun cenderung lebih kecil. Pada pukul 10.10-13.10 terjadi lonjakan

tegangan yang dikarenakan beban yang aktif sedikit berkurang karena merupakan waktu – waktu istirahat kerja. Ketidakstabilan tegangan dapat dipengaruhi oleh adanya gangguan dari sistem (kegagalan sistem) atau dari luar sistem (pohon tumbang, petir, dll)



Gambar 6 Grafik Perbandingan Faktor Daya

Faktor daya merupakan salah satu indikator terkait baik atau tidaknya kualitas daya listrik yang ada. Semakin besar nilai faktor dayanya (mendekati 1) maka semakin baik pula kualitas dayanya. Dari Gambar 6 terlihat kualitas daya pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo mengalami penurunan saat pukul 6.10, hal ini dikarenakan waktu dimana beban mulai aktif. Kualitas daya pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo termasuk baik, hal ini dikarenakan nilai yang ditunjukkan pada grafik selalu berada di atas nilai standar minimum yang ditetapkan oleh PLN yaitu 0,85.

2.2. Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Data yang harus dikumpulkan mencakup data penggunaan energi listrik untuk dijadikan acuan. Berdasarkan data historis pemakaian energi listrik pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo maka dapat dihitung jumlah kWh total yang dikonsumsi dan jumlah total biaya selama periode tertentu yang harus dikeluarkan untuk kebutuhan pengadaan energi listrik pada periode tersebut. Tabel 2 menunjukkan data konsumsi energi listrik gedung selama periode satu tahun terhitung sejak Mei 2015 hingga Mei 2016,

Dari data yang telah didapat, maka dapat dihitung besarnya nilai IKE dari bangunan gedung dengan persamaan berikut :

Diketahui :
 Total Konsumsi Energi 1 tahun = 1.576.290,012 kWh
 Rata-rata konsumsi energi listrik/bulan = 131.357,501 kWh/bulan
 Total Luas Area = 10.646,5 m²
 Maka :

$$\begin{aligned} \text{IKE} &= \text{Jumlah konsumsi energi/luas area} \\ &= 148,06 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun} \\ &= 12,34 \text{ kWh/m}^2/\text{bulan} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai IKE untuk gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo tersebut sebesar 12,34 kWh/ m²bulan, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik di gedung tersebut masih tergolong cukup efisien, dengan merujuk pada standar IKE kategori gedung ber-AC pada Tabel 1.

Tabel 2. Data Historis Penggunaan Energi Listrik Selama 1 Tahun

Bulan	Pemakaian Daya (kWh)	Jumlah Pembayaran Listrik
Mei 2015	117.443,14	IDR 75.345.647
Juni 2015	108.743,16	IDR 69.764.173
Juli 2015	104.415,59	IDR 66.987.821
Agustus 2015	59.660	IDR 38.274.875
September 2015.	98.040,08	IDR 62.897.617
Oktober 2015	113.995,08	IDR 73.133.547
November 2015.	152.564,47	IDR 97.877.734
Desember 2015	146.121,70	IDR 93.744.374
Januari 2016	142.369,64	IDR 91.337.243
Februari 2016	104.415,59	IDR 66.987.821
Maret 2016	107.532,34	IDR 68.987.370
April 2016.	151.114,47	IDR 96.947.488
Mei 2016	169.874,75	IDR 108.983.142

2.3. Analisis Sistem Pencahayaan

Hasil penelitian menunjukkan, rata-rata aktifitas di gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo dilakukan pada siang hari, meskipun demikian penggunaan lampu sebagai penerangan ruangan masih menjadi yang utama. Hal ini dikarenakan dinding kaca hampir semua ruangan di tutupi oleh tirai dan jarang dibuka, selain itu struktur bangunan yang kurang mendukung pemanfaatan cahaya alami terutama ruangan bagian dalam gedung juga menjadi penyebabnya, sehingga dibutuhkan penerangan buatan menggunakan lampu untuk memenuhi kebutuhan penerangan yang ada.

Jenis lampu yang digunakan pada bangunan gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo masih didominasi oleh penggunaan lampu jenis TL (*Tube Lamp*) yang tergolong jenis lampu *fluorescent*. Perbandingan tingkat kuat penerangan hasil pengukuran dengan standar yang merujuk pada SNI 6197-2011 tentang Konversi Energi pada Sistem Pencahayaan untuk beberapa sampel ruangan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Kuat Pencahayaan di lantai 2

No	Lokasi Pengukuran	Kuat Pencahayaan (Lux)		Kesesuaian Dengan Standar
		Pengukuran	Standar	
1	Audiovisual FPSB	63,2	200	Belum Sesuai
2	R.Kuliah Magister 02.05	266	350	Belum Sesuai
3	R.Diskusi Magister	185	300	Belum Sesuai
4	R. Kuliah 02.08	263	350	Belum Sesuai
5	R. Dosen DSI & O	209	300	Belum Sesuai
6	R. Dosen (PSMF) 02.10	140,8	300	Belum Sesuai
7	R. 02.06	201,3	250	Belum Sesuai
8	R. Prodi Psikologi			
	R.Lobi	105	300	Belum Sesuai
	R.Sidang	243	300	Belum Sesuai
	R.Dosen [5]	132,3	250	Belum Sesuai

Dari sampel ruangan pada Tabel 3 menunjukkan nilai Lux ruangan masih banyak yang belum memenuhi standar minimum yang direkomendasikan, hanya ada sebagian kecil ruangan saja yang memenuhi nilai standar yang direkomendasikan. Salah satu penyebabnya adalah banyaknya ruangan yang dialihfungsikan tanpa mempertimbangkan kebutuhan pencahayaannya, dengan struktur ruangan yang berubah, namun tata letak lampunya tetap sama. Selain itu penyebab lainnya juga dikarenakan sebagian besar dari ruangan.

2.4. Peluang Hemat Energi (PHE)

Peluang hemat energi merupakan langkah untuk mencari dan menemukan potensi penghematan dari penggunaan energi yang ada sehingga konservasi energi pun dapat terlaksana. Peluang hemat energi yang akan direkomendasikan oleh penulis adalah PHE *no cost*, *low cost*, dan PHE *high cost*.

2.4.1 PHE No Cost

Peluang Hemat Energi (PHE) *no cost* merupakan langkah – langkah yang dapat dilakukan untuk menghemat penggunaan energi, tanpa harus ada biaya yang dikeluarkan dengan cara pengelolaan penggunaan peralatan dengan lebih baik dan efisien sehingga penggunaan peralatan yang ada bisa lebih tepat.

PHE *no cost* yang dapat dilakukan pada sistem pencahayaan adalah :

- Menggunakan lampu secara tepat dan bijak, yaitu dengan cara hanya menyalakan lampu jika memang dibutuhkan serta mematikan lampu jika sudah tidak diperlukan seperti saat jam istirahat/sholat (jam 11.00-13.00).
- Memanfaatkan pencahayaan alami dengan lebih baik. Beberapa ruangan memiliki pencahayaan alami yang baik, namun sayangnya hal ini kurang dimanfaatkan dengan baik.

Dengan dilakukan rekomendasi tersebut diharapkan jam operasional lampu dapat berkurang sebanyak 2 jam atau lebih, dengan asumsi tersebut maka didapat penghematan energi listrik sebesar 930,93 kWh/bulan dan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 847.146 per bulannya.

2.4.2 PHE Low Cost

PHE *low cost* merupakan suatu langkah yang dilakukan untuk memperoleh penghematan energi yang lebih besar, dengan cara penggantian sistem pengelolaan atau peralatan dengan biaya yang relatif rendah.

PHE *low cost* yang dapat dilakukan pada sistem pencahayaan adalah :

1. Melakukan langkah seperti langkah PHE *no cost*
2. Segera melepas atau mengganti lampu yang sudah mati
3. Mengganti atau mengurangi lampu pada ruangan yang daya pencahayaan maksimumnya melebihi standar.
4. Mengganti ballast biasa ke ballast elektronik pada lampu TL, dengan keuntungan dapat menghemat energi hingga 22,7% dan efikasi lampu meningkat hingga 10%.

Dengan melakukan rekomendasi tersebut maka akan didapatkan penghematan energi listrik sebesar 2.294,44 kWh/bulan dan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 2.087.939/bulan. Dengan penghematan energi yang dapat dicapai maka biaya yang harus dikeluarkan untuk penggantian ballast trafo ke ballast elektronik adalah:

- Harga ballast elektronik Phillip EB- Certalum 118-136 TLD = Rp. 43.000

- Jumlah ballast lampu yang diganti adalah 1.159 buah maka :

$$\begin{aligned}\text{Biaya Investasi} &= \text{Jumlah Ballast} \times \text{Harga penggantian} \\ &= 1159 \times \text{Rp. 43.000} \\ &= \text{Rp. 49.837.000}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Payback period} &= \text{Biaya investasi} / \text{Penghematan bulanan} \\ &= 23,87 \text{ bulan}\end{aligned}$$

2.4.3. PHE High Cost

PHE *high cost* merupakan suatu langkah yang dilakukan untuk memperoleh penghematan energi yang lebih besar, dengan cara penggantian sistem pengelolaan atau peralatan dengan biaya yang relatif besar. Peluang penghematan yang direkomendasikan pada sistem pencahayaan adalah dengan penggantian lampu TL dengan LEDTube (LED TL) dan lampu CFL dengan LED bulb. Penggantian dengan lampu LED akan memberikan penghematan yang besar, selain lebih hemat energi, lampu LED memiliki masa hidup 2 - 3 kali dari lampu *fluorescent*.

Lampu pengganti yang digunakan untuk mengganti lampu TL adalah Phillips LEDTube Ecofit dimana dengan LEDTube Ecofit 8W untuk pengganti lampu TL 20W LEDTube Ecofit 16W untuk pengganti lampu TL 40W, sedangkan untuk pengganti lampu CFL adalah dengan lampu Phillips LED bulb 13W.

Dengan melakukan rekomendasi tersebut maka akan didapatkan penghematan energi listrik sebesar 4.811,636 kWh/bulan dan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 4.378.590/bulan. Dengan penghematan energi yang dapat dicapai dengan penggantian lampu tersebut maka biaya investasi yang harus dikeluarkan adalah :

- Lampu pengganti yang digunakan :
 - Phillips LEDTube Ecofit 16W = Rp. 65.000
 - Phillips LEDTube Ecofit 8W = Rp. 50.000
 - Phillips LED bulb 13W E27 = Rp. 68.700
- Penggunaan lampu pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo adalah : Lampu TL 20W = 773
- Lampu TL 40W = 386
- Lampu CFL = 395
- Biaya Investasi (TL 40) = Jumlah Lampu (TL 40) x Harga penggantian
 = 386 x Rp. 65.000
 = Rp. 25.090.000
- Biaya Investasi (TL 20) = Jumlah Lampu (TL 20) x Harga penggantian
 = 773 x Rp. 50.000
 = Rp. 38.650.000
- Biaya Investasi (CFL) = Jumlah Lampu (CFL) x Harga penggantian
 = 395 x Rp. 68.700
 = Rp. 27.136.500
- Biaya total investasi lampu = Rp. 90.876.500
- Payback period = Biaya investasi / Penghematan bulanan = 20,75 bulan

2.5. Perhitungan Kembali nilai IKE

PHE yang dipilih dalam perhitungan ini adalah PHE *high cost*, karena PHE *high cost* akan menekan penggunaan listrik yang paling tinggi.

$$\begin{aligned}
 \text{kWh penghematan sistem pencahayaan (high cost)} &= 4.811,636 \text{ kWh} \\
 \text{KWH AWAL TOTAL} &= 1.576.290,012 \text{ KWH} \\
 \text{IKE} &= (\text{kWh awal} - \text{kWh penghematan}) / \text{luas total} \\
 &= (1.576.290,012 - 4.811,636 \times 12) / 10.646,5 \\
 &= 142,634 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun} \\
 &= 11,886 \text{ kWh/m}^2/\text{bulan}
 \end{aligned}$$

Nilai IKE tersebut tergolong dalam kategori efisien.

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, tingkat kuat pencahayaannya pada 84,11% ruangan masih di bawah standar yang direkomendasikan.

Peluang penghematan energi yang dapat dilakukan diantaranya :

- a. Memperbaiki tata kelola penggunaan peralatan
- b. Mengurangi jam kerja operasional (jam 11.00-13.00)
- c. Mengganti sebagian komponen yang berupa ballast untuk lampu
- d. Mengganti lampu TL yang lama dengan lampu LED Tube yang lebih hemat energi.

Nilai IKE pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo adalah 148,06 kWh/m²/tahun atau 12,34 kWh/m²/bulan yang tergolong cukup efisien untuk kategori gedung ber- AC. Hasil akhir menunjukkan dengan mengaplikasikan rekomendasi peluang penghematan didapatkan peningkatan efisiensi konsumsi energi listrik sebesar 0,45 kWh/m²/bulan dengan penghematan energi listrik sebesar 4.811,636 kWh/bulan.

PUSTAKA

- [1] *Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan*, Dokumen Teknis, SNI 6197-2011, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2011.
- [2] *Pengukuran Intensitas Penerangan di Tempat Kerja*, Dokumen Teknis, SNI 16-7062-2004, Badan Standarisasi Nasional, 2004
- [3] Eka Pratiwi. *Audit Energi Gedung Perkantoran (studi kasus di PT.PLN Distribusi Jawa Timur)*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta, 2013
- [4] Departemen Pekerjaan Umum (1993), *Standar : Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung*, Bandung: Yayasan LPMB
- [5] *Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung*, Dokumen Teknis, SNI 03-6196-2010
- [6] Septiana Ria Prihandita. *Audit Energi Listrik Studi Kasus di Gedung Pusat UGM Sayap Selatan dan Timur Yogyakarta*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta, 2012.
- [7] Achmad Marzuki dan Rusman, *Audit Energi pada Bangunan Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII (Persero)*, Vokasi ISSN 1693-9085, vol:8, nomor 3, hal:184-196, 2012.
- [8] Erwin Fakhrurozi. *Audit Energi Listrik (Studi Kasus di Gedung Elti Sabirin Yogyakarta)*. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta, 2008.
- [9] Diah Roosita. *Audit Energi Listrik pada AC dan Pencahayaan Dalam Upaya Efisiensi Energi di RS Islam Surakarta*, Tesis. Fakultas Kedokteran, UGM, Yogyakarta, 2014.
- [10] Feni Wijastuti. *Audit energi listrik (studi kasus di Gedung perpustakaan pusat UGM sayap selatan)*, Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, UGM, Yogyakarta, 2014.
- [11] Sismanto, D. J.(2013). *Audit Energi Listrik dan Analisis Peliuang Hemat Energi Listrik Pada Sistem Pencahayaan dan Sistem Pendingin Udara di Rumah Sakit DR. Adhayatma, MPH Semarang*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, UGM.

PERBAIKAN IKE (INTENSITAS KONSUMSI ENERGI) DENGAN MENERAPKAN METODE PHE (PELUANG HEMAT ENERGI) PADA PENCAHAYAAN GEDUNG

Husein Mubarak¹, Wahyudi Budi Pramono², Wisnu Arisaputra²

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

Jalan Kaliurang Km 14,5 Sleman Yogyakarta 55501

Telp. (0274) 895007, 896287 Faks. (0274) 895007 Ext. 131

E-mail: mubarak.husein@uii.ac.id

ABSTRAKS

Perkembangan teknologi tidak terlepas dari kebutuhan akan energi listrik. Terus meningkatnya kebutuhan ini membuat cadangan energi listrik yang ada saat ini semakin berkurang. Sebagai usaha untuk penghematan energi, pemerintah mengeluarkan kebijakan mengenai konservasi energi. Salah satu usaha nyata untuk mendukungnya adalah dengan perbaikan IKE (Intensitas Konsumsi Energi) pada kegiatan audit energi. Audit energi pada penelitian ini dilakukan pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo berupa audit energi listrik dengan metode observasi langsung yang berfokus pada sistem pencahayaan. Audit dimulai dengan pengumpulan dan pengolahan data, selanjutnya melakukan analisa dan perhitungan nilai IKE gedung, yang dilanjutkan dengan pemberian rekomendasi peluang penghematan. Dengan pengaplikasian metode rekomendasi PHE (Peluang Hemat Energi), didapatkan perbaikan nilai IKE sebesar 0,45 kWh/m²/bulan dengan total penghematan energi listrik sebesar 4.811,636 kWh/bulan.

Kata Kunci: audit energi, ike, phe, konservasi energi

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi tidak terlepas dari kebutuhan akan energi listrik. Terus meningkatnya kebutuhan ini membuat cadangan energi listrik yang ada saat ini semakin berkurang. Sebagai usaha untuk penghematan energi, pemerintah mengeluarkan kebijakan mengenai konservasi energi. Salah satu usaha nyata untuk mendukungnya adalah dengan audit energi dimana dalam kegiatan ini dapat dilakukan perbaikan Intensitas Konsumsi Energi (IKE).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai IKE, profil penggunaan energi, faktor-faktor yang berperan dalam pemborosan dan membuka peluang penghematan energi yang dapat diterapkan pada gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo Universitas Islam Indonesia.

1.2. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai IKE dan audit energi sudah banyak dilakukan, diantaranya adalah audit energi pada bangunan gedung direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII (Marzuki, 2012), audit energi di Gedung Elti Sabirin Yogyakarta (Fakhrurozi, 2008), audit energi pada AC danm pencahayaan dalam rangka efisiensi energi di RS Islam Surakarta (Roosita, 2014), audit energi listrik pada Gedung Perpustakaan Pusat UGM sayap selatan (Wijastuti, 2014), dan audit energi listrik pada RS Adhyatma Semarang (Sismanto, 2013). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan adanya kegiatan audit energi, maka nilai IKE bangunan gedung dapat diperbaiki/dinaikkan.

1.2.1 Konservasi Energi

Menurut SNI 03-6196-2000 tentang Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung, konservasi energi didefinisikan sebagai upaya mengefisiensikan pemakaian energi untuk suatu kebutuhan agar pemborosan energi dapat dihindari.

1.2.2. Audit Energi

Audit energi merupakan salah satu kegiatan yang dapat dilakukan agar tujuan konservasi energi dapat tercapai. Audit energi merupakan proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi (Pratiwi, 2013). Tahapan audit energi terdiri dari 3 tahap, yaitu :

URBAN LOCAL ENERGY DEVELOPMENT (ULED): MUNGKINKAH KOTA DI INDONESIA MENGEMBANGKAN ENERGI TERBARUKAN?

Andri Oktaviani¹

¹Program Studi Teknik Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. H. Soedarto. S.H. Tembalang Semarang 50275
E-mail: andri.oktaviani17@pwk.undip.ac.id

ABSTRAKS

Populasi dunia telah meningkat setiap tahun dengan konsentrasi terbesar berada di perkotaan yakni sebanyak 75 persen. Peningkatan jumlah populasi sejalan dengan meningkatnya konsumsi energi, terutama konsumsi bahan bakar fosil konvensional. Penyediaan kebutuhan energi dari energi fosil di Indonesia meningkat sebesar 5 persen dari tahun 2007 sampai 2008. Mengingat ketergantungan yang begitu tinggi pada energi fosil (non-renewable energy), hingga menjadi konsumen energi terbesar di ASEAN tahun 2016, mengakibatkan Indonesia mengalami krisis energi. Oleh karena itu, sangat diperlukan pengembangan energi lokal secara mandiri dari sumber energi terbarukan di setiap kota di Indonesia untuk mewujudkan kedaulatan energi nasional. Konversi energi dari non-renewable menjadi renewable akan lebih nyata apabila dilakukan dalam skala yang lebih kecil seperti skala kota. Pendekatan pengembangan energi perkotaan dengan menggunakan alternatif sumber-sumber energi lokal di dalam negeri dapat dilakukan dengan Urban Local Energy Development (ULED). Penelitian ini akan menggunakan metode penelitian pustaka (literature review) untuk menganalisis kesempatan kota-kota di Indonesia dalam mengembangkan energi terbarukan. Dibandingkan dengan negara lain seperti Amerika dan Jepang yang telah berhasil melakukan konversi energi, Indonesia juga memiliki kesempatan besar dalam mengembangkan energi terbarukan mengingat letak geografisnya yang menguntungkan. Akan tetapi, kelemahan dan tantangan dari dalam maupun dari luar seperti teknologi, kendala pendanaan, sistem investasi, hingga kebijakan dan rencana aksi yang tidak memadai masih menjadi hambatan yang perlu diselesaikan untuk mengembangkan energi lokal dari sumber-sumber terbarukan.

Kata Kunci: Urban Local Energy Development (ULED), Renewable Energy, Konversi Energi

1. PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan dibagi menjadi dua yaitu bagian 1.1 *local energy development* dan *urban renewable energy* dan bagian 1.2 metode penelitian. Bagian 1.1 berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan mencakup pula tinjauan pustaka, sedangkan di bagian 1.2 akan membahas metode penelitian.

1.1. Local Energy Development dan Urban Renewable Energy

Meningkatnya permintaan energi berbanding lurus dengan peningkatan jumlah populasi, dimana konsumsi energi terbanyak berasal dari kawasan perkotaan yaitu sebesar 75 persen (Prasojo, 2016; Sukarno, et. al., 2015). Kondisi ini menjadi lazim karena 68 persen penduduk saat ini tinggal di perkotaan dan diperkirakan akan meningkat setiap tahunnya (Madlener and Sunak 2011). Artinya ini menjadi tantangan bagi negara-negara di dunia, tidak terkecuali Indonesia, untuk memenuhi kebutuhan energi perkotaan. PDB dunia 80 persen disumbang oleh sektor energi, sehingga adanya ketidakpastian dalam penyediaan energi mampu mengancam fungsi ekonomi bahkan ketahanan nasional (Sen and Ganguly 2015). Pembangunan sosio-ekonomi yang berkelanjutan membutuhkan penyediaan energi yang terjangkau dan aman dengan dampak lingkungan sesedikit mungkin dan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang rendah. Akan tetapi ini masih jauh dari harapan, mengingat 85 persen permintaan energi dunia dipenuhi oleh bahan bakar fosil konvensional dengan sumbangan 56.6 persen emisi GRK (Sen and Ganguly 2015). Bukan hanya itu, kebijakan *mix energy* yang mendukung efisiensi dan diversifikasi energi di Indonesia hanya mampu memberikan porsi energi terbarukan sebanyak 4 persen (Asian Development Bank 2015). Menjawab tantangan tersebut pemerintah Indonesia telah mengeluarkan kebijakan efisiensi dan diversifikasi energi, serta berhasil menjadi negara dengan tingkat efisiensi tertinggi dari 23 negara lainnya menurut *American Council for An Energy-Efficient Economy (ACEEE)*. Meski demikian, upaya ini masih perlu ditingkatkan mengingat pertumbuhan kota semakin tinggi dan populasi kota semakin meningkat, dengan pengguna energi terbesar terdapat di perkotaan, sehingga perlu adanya upaya pengembangan energi lokal dari sumber-sumber energi terbarukan secara mandiri di setiap kota di Indonesia.

Di Indonesia, kebutuhan energi yang disediakan oleh energi fosil berkontribusi sebesar 74 persen pada tahun 2007 dan meningkat menjadi 79 persen pada tahun 2008 (Indriyanto, 2010). Mengingat ketergantungan yang begitu tinggi pada energi *non-renewable* (energi fosil), saat ini Indonesia dapat dikatakan telah mengalami krisis energi.

Sejak tahun 2007, Indonesia telah mengimpor minyak bumi sebesar 35% untuk konsumsi energi dalam negeri (Numberi, 2011). Di tahun 2016 kebutuhan energi Indonesia merupakan yang terbesar di ASEAN yakni 44 persen (Nurudin, 2016). Subsidi energi total di tahun 2011 dari APBN sebesar Rp 225 triliun (BBM Rp 137 triliun, listrik Rp 65 triliun, dan cadangan risiko fiskal Rp 23 triliun). Jika diasumsikan rata-rata harga minyak mencapai US\$100/barel, tambahan subsidi energi yang dibutuhkan sekitar Rp 69.79 triliun (Biro Analisa Anggaran dan Pelaksanaan APBN DPR RI 2012). Angka yang fantastis jika mampu dialihkan untuk pengembangan energi terbarukan kota secara lokal.

Keberhasilan pemerintah Indonesia melakukan efisiensi energi tidak lepas dari kebijakan pemerintah berupa *energy security* yang dilakukan dengan cara *mix energy*, baik dari *renewable energy* maupun *non-renewable energy* (Asian Development Bank 2015). Pada faktanya, pemerintah baru mampu menggunakan *renewable energy* sebesar 4 persen di tahun 2011 dan menargetkan adanya peningkatan sebesar 23 persen di tahun 2025, kemudian menargetkan peningkatan menjadi 31 persen di tahun 2050 (Asian Development Bank 2015). Dari persoalan yang disampaikan di atas, selama ini pemerintah masih terfokus pada efisiensi dan diversifikasi untuk memenuhi kebutuhan seluruh wilayah di Indonesia, akan tetapi belum mengembangkan sumber daya kota untuk menyediakan sumber energi kota yang berkelanjutan. Padahal jika kota mampu memenuhi kebutuhan energinya sendiri secara lokal, dapat memberikan kesempatan adanya peningkatan penggunaan *renewable energy* dan penyelesaian permasalahan kebutuhan energi yang semakin meningkat akibat pertumbuhan kota.

Pendekatan pengembangan energi perkotaan dengan menggunakan alternatif sumber-sumber lokal di dalam negeri dapat dilakukan dengan *Urban Local Energy Development* (ULED), yaitu proyek-proyek energi lokal yang bergantung pada sumber daya energi lokal di dalam area kota atau di *hinterland* kota yang dapat diperbaharui untuk melayani kebutuhan lokal (Greg Pahl, 2013; Pantaleo, et. al., 2013) *Local energy* dalam pengembangannya dapat melibatkan lingkungan yang luas, kota, institusi pendidikan, koperasi, perusahaan kecil, dan kombinasi dari dua atau lebih aktor. Kota terintegrasi energi terbarukan akan lebih cocok untuk memenuhi permintaan energi yang tinggi pada area perkotaan yang terus-menerus mengalami pertumbuhan (Kammen and Sunter 2016). Konsep pengembangan energi lokal melalui sumber non-fosil akan mampu meningkatkan kemandirian wilayah dan menciptakan kedaulatan energi di tanah air.

Kepadatan energi adalah salah satu batasan penerapan ULED (*Urban Local Energy Development*) dan merupakan pertimbangan yang penting di dalam mengevaluasi keberlanjutan dan kemungkinan kota menerapkan energi terbarukan secara lokal (Lihat pada Tabel 1). Sumber energi yang akan dikembangkan diharapkan adalah sumber yang tepat untuk mengakomodir kebutuhan energi perkotaan. Tabel 1 kepadatan energi menunjukkan kepadatan energi untuk berbagai macam sumber. Ini mungkin berbeda setiap kota tetapi secara garis besar mampu menggambarkan potensi sumber-sumber energi terbarukan.

Tabel 1. Kepadatan energi untuk berbagai sumber energi terbarukan kota

Teknologi/Sumber	Kepadatan Energi (W/m ²)	Asumsi
Energi angin	2	Rata-rata kecepatan angin 6 m/s (tinggi untuk area perkotaan)
Solar Photovoltaics	22	Sel efisiensi 20%
Solar thermal	55	Efisiensi 50%
Biomassa	0.5	Pilihan terbaik untuk kota-kota di Eropa
Run-of-River Hydropower	0.02	Untuk kota-kota yang berada di area dataran rendah
Tidal	3 – 6	Air pasang maupun surut
<i>Geothermal</i>	0.017	Merupakan hasil kepadatan energi rata-rata, kemungkinan dapat lebih tinggi di beberapa lokasi
Bahan bakar fosil	43	Produksi minyak dan gas dari Ghawar, Saudi Arabia
Permintaan Energi	11	London, 2008

Sumber: Pantaleo, Shah, & Keirstead, 2013

Pada Tabel 1 diketahui bahwa permintaan energi di Kota London tahun 2008 memiliki kepadatan 11 W/m². London adalah metropolitan dengan jumlah penduduk 8,505 juta jiwa atau lebih sedikit dari metropolitan Jakarta dengan jumlah penduduk 8,843 juta jiwa (United Nations 2007) Jika melihat karakteristik perkotaannya, London dan Jakarta tidak jauh berbeda dalam hal jumlah penduduk, namun dibanding mayoritas kota lainnya di Indonesia, dapat ditarik kesimpulan bahwa kepadatan energi kota-kota lain di Indonesia masih lebih rendah dari kepadatan energi Kota London. Melihat angka kepadatan tersebut, misalnya energi fosil (43 W/m²) dibanding energi surya (55 W/m²), memperbesar keyakinan bahwa sumber-sumber energi alternatif mampu mensubstitusi bahan bakar fosil.

Energi terbarukan yang dimaksud dalam pembahasan ini merujuk pada penelitian Pantaleo, Shah, & Keirstead (2013) yaitu energi air, *micro hydro*, angin, surya, *geothermal*, dan biomassa. Energi surya adalah sumber yang memiliki kemungkinan besar untuk diterapkan di area perkotaan dengan iklim tropis dan sinar matahari yang cukup. Sedangkan energi terbarukan dari tenaga air dan gelombang lebih tepat diaplikasikan di kota-kota yang berlokasi di sungai atau pesisir. Pengembangan energi air juga perlu memperhatikan topografi dimana topografi kota sangat mempengaruhi biaya yang akan dikeluarkan. Untuk energi terbarukan dari sumber angin dapat diterapkan di bagian dekat kota atau mengelilinginya. Namun akan lebih ekonomis jika menerapkannya di lokasi dengan kekuatan kecepatan angin lebih dari 6 m/s (Pantaleo, Antonio M.; Shah, Nilay; Keirstead 2013). *Geothermal energy* dapat dikategorikan menjadi dua berdasarkan temperatur di dekat permukaan bumi. Meski demikian, tidak semua orang di lingkungan perkotaan, misal perumahan, dapat mengakses sumber energi *geothermal*. Sedangkan bio energi (biomassa) sangat potensial untuk diterapkan di perkotaan dengan potensi limbah organik.

1.2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini, difokuskan pembahasan mengenai kesempatan pembangunan *Urban Local Energy Development* (ULED) berbasis energi terbarukan dengan melihat dan belajar dari negara-negara yang telah melakukan konversi atau substitusi dari energi non terbarukan menjadi energi terbarukan. Selain itu, pembahasan akan dilanjutkan pada **kelebihan, kelemahan, kesempatan, dan tantangan** dari penerapan ULED di setiap kota di Indonesia. Kelebihan, kelemahan, kesempatan, dan tantangan tentunya berbeda bagi setiap kota di Indonesia dikarenakan adanya perbedaan letak geografis. Untuk menunjang pengumpulan data dan analisis penelitian akan digunakan metode penelitian pustaka (*literature review*). Metode penelitian pustaka memanfaatkan sumber-sumber pustaka untuk memperoleh data yang menunjang dalam penelitian (Zed 2004). Data atau hasil dari penelitian sebelumnya kemudian dicatat dan dilakukan sitasi untuk mendukung gagasan penelitian ini.

Sumber pustaka yang digunakan antara lain buku, jurnal, berita, dan laporan tahunan yang bersumber dari internet. Data-data yang digunakan berupa keterangan upaya-upaya yang telah dilakukan oleh negara-negara lain, kebijakan yang mendukungnya, dan hasil yang didapatkan dari substitusi energi non-terbarukan menjadi energi terbarukan. Data-data tersebut kemudian dijadikan sebagai pembelajaran dan rujukan pembahasan kelebihan, kelemahan, kesempatan, dan tantangan penerapan ULED di Indonesia. Data yang diperlukan dalam membahas kelebihan yaitu data potensi energi terbarukan dari setiap sumber energi terbarukan. Data kelemahan melihat pada praktik di lapangan berdasarkan kajian yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian dibandingkan dengan kemampuan negara-negara lain di dunia. Untuk membahas kesempatan, digunakan data pengalaman Indonesia dalam menerapkan energi terbarukan diantaranya saat konversi minyak tanah menjadi LPG. Untuk membahas tantangan akan digunakan data ketersediaan kebijakan dan rencana aksi di Indonesia dalam mengembangkan energi terbarukan.

2. PEMBAHASAN

Di dalam makalah ini akan dibahas keberhasilan penerapan energi terbarukan di negara-negara lain di dunia yang telah terlebih dulu mengawali penerapan energi terbarukan sebagai bentuk efisiensi ataupun substitusi energi non-terbarukan menjadi energi terbarukan. Setelah melihat *lesson learned* dari Amerika dan Jepang, selanjutnya akan dibahas kesempatan atau kemungkinan penerapan ULED (*Urban Local Energy Development*) yang berasal dari sumber-sumber terbarukan di Indonesia. Kesempatan pengembangan ULED di Indonesia akan dilihat dari sisi kelebihan, kelemahan, kesempatan, dan tantangan pengembangannya serta beberapa diantaranya akan dikaitkan dengan kunci keberhasilan konversi energi negara-negara sebelum Indonesia.

2.1. Menilik Keberhasilan Penerapan Energi Terbarukan Negara-Negara di Dunia

Beberapa negara di dunia telah berbenah untuk mengganti sumber-sumber energi tidak ramah lingkungan menjadi energi terbarukan yang berkelanjutan, seperti Amerika dan Jepang. Sebagai negara industri maju, AS sangat memperhatikan untuk mengembangkan ketahanan energinya. Dalam upaya ini, Amerika Serikat telah mengeluarkan kebijakan guna mensukseskan program energi terbarukan biofuel. Tidak tanggung-tanggung, bahkan sejak 1980-an AS menerapkan insentif pajak bagi para pengguna biofuel dalam bentuk *Federal Excise Tax Exemption*. Tahun berikutnya (1990-an), kebijakan *Clean Air Act* diterbitkan untuk mengukuhkan penggunaan biofuel. *Clean Air Act* memuat kebijakan penjualan bahan bakar ramah lingkungan di sembilan Negara Bagian yang memiliki tingkat pencemaran udara buruk. AS juga menerbitkan *Energy Policy Act*, diantaranya mendukung riset, keringanan pajak serta pinjaman pengembangan dan produksi biofuel.

Bukan hanya menerbitkan kebijakan, langkah nyata AS terlihat dari kedua kotanya yang telah berhasil mengganti penggunaan energi sepenuhnya menjadi energi terbarukan (Utama 2016). Burlington, Vermont menjadi kota besar pertama yang menyediakan energi perkotaan sepenuhnya dari energi terbarukan dan telah menyelesaikan

pengembangan ini pada 2015. Selain kota besar sekelas Burlington, kota kecil, Greensburg, Kansas, tidak kalah pencapaiannya. Kota ini mencapai tujuannya untuk penggunaan energi terbarukan pada 2013 dengan membangun efisiensi energi bersertifikat LEED.

Sebanyak 42,000 warga Burlington dapat tetap menyalakan lampu-lampu mereka melalui kombinasi listrik tenaga air yang berasal dari setengah mil Sungai Vermont Winooski, empat turbin angin di dekat Gunung Geogia, dan panel surya besar di Bandara. Dari sumber-sumber tersebutlah Burlington berhasil menjadi kota dengan 100 persen penggunaan energi dari sumber terbarukan. Tidak hanya itu, Burlington menambahkan jalur sepeda yang luas di dalam rencana kotanya, jaringan stasiun pengisian bahan bakar kendaraan listrik, dan rencana ambisius dengan memompa limbah panas Stasiun McNeil untuk menghangatkan bangunan-bangunan di pusat kota. Hingga pencapaiannya sekarang, merupakan inisiatif yang dikembangkan pemerintah kotanya (Woodard 2016).

Greensburg merupakan contoh lain keberhasilan melepaskan diri dari penggunaan energi fosil. Di tahun 2007, Greensburg, Kansas hampir diratakan oleh tornado besar. Bukan melemahkan, ini justru menjadi motivasi untuk membangun kembali kota yang bukan hanya lebih aman, lebih kuat, tetapi juga lebih hijau. Melalui nasihat ahli dari *National Renewable energy Laboratory*, kota ini berhasil membuat '*master sustainability plan*'. Efisiensi bangunan dan angin lokal, dilengkapi dengan instalasi surya kecil dan biogas menjadi pilar visi energi listrik berkelanjutan dari rencana tersebut (The Renewables 100 Policy Institute 2010). Untuk mendanai pembangunan energi terbarukan, Greensburg menggunakan kolaborasi investasi swasta, dana pembangunan desa USDA, dan dana pemerintah lokal.

Di Asia, Jepang merupakan salah satu negara yang berupaya mengurangi ketergantungannya pada minyak bumi melalui konservasi dan diversifikasi energi (Numberi 2011). Upaya diversifikasi telah dilakukan dari sisi penyediaan maupun konsumsi. Di sisi penyediaan, langkah yang dilakukan adalah dengan menaikkan efisiensi energi hingga 30%, menekan biaya pembangunan pembangkit listrik tenaga surya, dan menaikkan peran pembangkit listrik tenaga nuklir. Sedangkan dari sisi konsumsi lebih menitikberatkan pada kegiatan sektor industri dan transportasi yang merupakan sektor pengguna energi terbesar. Tidak jauh berbeda dengan AS, Jepang juga melakukan upaya pemberian insentif perpajakan, substitusi, dan dana penelitian kepada pengguna biofuel.

Dukungan dan keikutsertaan masyarakat Jepang dalam proyek konservasi dan diversifikasi energi nasional, termasuk dalam mengembangkan gaya hidup yang hemat energi, sungguh merupakan faktor pendukung yang sangat penting (Numberi 2011). Pengembangan konservasi dan diversifikasi energi terbarukan juga tampak jelas dari kesungguhan pemerintah, baik pusat maupun daerah, serta masyarakatnya. Salah satu yang gencar dikembangkan yakni pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di Kota Tsuru. Sebagian kebutuhan pembiayaan pembangunan pembangkit listrik ini dipenuhi dari partisipasi warga melalui pembelian obligasi.

Amerika dan Jepang hanyalah beberapa negara yang telah berhasil menerapkan energi terbarukan untuk kota-kotanya. Berkaca dari keberhasilan kedua negara, poin penting yang perlu mendapat perhatian yaitu keberhasilan ini tidak luput dari kebijakan yang tegas dan aplikatif, konsistensi pemerintah dalam menerapkan *urban planning*, partisipasi masyarakat, dan adanya kemampuan konversi energi. Poin-poin tersebut dapat menjadi tolok ukur keberhasilan penerapan *urban renewable energy* (URE) di Indonesia. Secara menyeluruh, kunci keberhasilan ini akan dibahas pada bagian selanjutnya untuk melihat kemungkinan penerapan ULED melalui *urban renewable energy* (URE) di Indonesia.

2.2. Kesempatan Menerapkan ULED dari Energi Terbarukan di Indonesia

Menggunakan skenario *business as usual*, para ahli memperkirakan adanya percepatan memburuknya berbagai indikator penting bagi kehidupan makhluk bumi, baik bersifat lokal maupun global. Masalah ketersediaan (*availability*), akses (*accessibility*), daya beli (*affordability*), dan penerimaan lingkungan (*acceptability*) merupakan kebijakan energi yang harus mampu diselesaikan oleh seluruh daerah di Indonesia untuk menciptakan ketahanan energi (Indriyanto, 2010). Untuk melihat kemungkinan penerapan ULED di Indonesia akan ditinjau dari berbagai sudut pandang yakni **kelebihan, kelemahan, kesempatan, dan tantangan** pengembangannya. Beberapa poin dari pembahasan ini akan mengacu pada *lesson learned* pada bagian sebelumnya.

Dalam hal kelebihan, kota di Indonesia memiliki faktor *availability* yaitu potensi energi terbarukan. Potensi energi dari sumber air berkisar 75,624 MW tetapi hanya 3,649 MW atau kurang dari 5 persen yang dimanfaatkan khususnya di luar Jawa-Bali (Asian Development Bank 2015). Indonesia sebagai negara kepulauan juga memiliki wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin. Potensi energi yang siap dibangun lebih dari 9290 MW dan kapasitas terpasang hingga tahun 2009 hanya mencapai 3 MW (Asian Development Bank 2015). Rata-rata wilayah di Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata antara 2 m/s hingga 3 m/s, dan menghasilkan energi spesifik hingga mencapai 321 kW.hr/m² (Rachman, 2012). Energi angin perkotaan memberikan kesempatan bukan hanya sebagai pembangkit listrik terbarukan, tetapi juga ventilasi, penyebaran polusi, dan mitigasi dampak *urban heat-island* (Kammen, 2016).

Tabel 2. Potensi sumber energi terbarukan dan kapasitas terpasang di Indonesia

Energi Terbarukan	Sumber (MW)	Kapasitas Terpasang (MW)
Air	75,670	4,200
<i>Geothermal</i>	27,000	1,052
<i>Micro hydro</i>	450	86
Biomassa	49,810	445
Matahari	4.8 kWh/m ² /hari	12
Angin	9,290	0.6

Sumber: I. E. A., 2008

Potensi *geothermal* Indonesia sebesar 28,000 MW atau 40 persen dari potensi *geothermal* dunia, namun hanya 1,300 MW atau 4 persen yang baru termanfaatkan (Asian Development Bank 2015). Selain itu, karena letaknya yang berada di dekat garis equator, wilayah Indonesia memiliki intensitas penyinaran matahari maksimum sepanjang tahun. Rata-rata insolasi tiap hari antara 4.5 hingga 5.1 kWh/m² yang mengindikasikan adanya potensi surya yang sangat baik, khususnya cocok diterapkan untuk pulau terpencil yang tidak memiliki jaringan energi. Rata-rata lama penyinaran matahari di Indonesia 8 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00 (Hamdi 2013). Ini artinya, seluruh kota-kota di Indonesia potensial dalam menerapkan energi surya. Bukan hanya surya, energi biomassa banyak dihasilkan oleh tumbuhan di daerah tropis (Kammen and Sunter 2016). Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat signifikan dari limbah pertanian seperti sekam padi, karet, dan minyak kelapa sawit (Asian Development Bank 2015). Untuk mengidentifikasi sumber lokal yang sesuai bagi pengembangan ULED dapat dilakukan berdasarkan karakteristik kota dan kepadatan energi masing-masing seperti pada tabel 1. Pada dasarnya, potensi energi terbarukan hampir dimiliki semua kota di Indonesia, namun untuk menerapkannya perlu mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti karakteristik (termasuk geografis) dan kepadatan energi dari setiap sumber energi yang dimiliki kota.

Kelemahan dalam penerapan ULED di Indonesia yaitu kurangnya daya beli dan partisipasi dari masyarakat (*acceptability*). Daya beli (kemampuan dan kemauan membeli) dari masyarakat tergolong rendah untuk hal-hal berkaitan dengan pembangunan berkelanjutan. Oleh karenanya, ini menjadi kelemahan atau hambatan bagi penerapan ULED yang notabene merupakan proyek pembangunan berkelanjutan di bidang energi. Pengembangan sumber energi terbarukan dalam skala kecil dan menengah seharusnya juga memungkinkan partisipasi masyarakat luas, mendorong kegiatan ekonomi lokal, dan berdampak positif terhadap pengurangan kemiskinan (Indriyanto, 2010). Akan tetapi pengembangan energi terbarukan selama ini banyak dilakukan dengan menggunakan pendekatan proyek yang dikerjakan oleh kontraktor tanpa pelibatan masyarakat setempat. Dampak negatifnya, kemampuan lokal menjadi tidak tumbuh, rasa tanggung jawab dan kepemilikan aset menjadi rendah, serta manfaat program hanya berusia pendek (Indriyanto 2010). Semua itu berarti pemborosan yang sangat tidak sesuai dengan kondisi negara berkembang yang serba terbatas. Padahal di negara-negara seperti Amerika dan Jepang, partisipasi masyarakat menjadi kunci utama keberhasilan penggunaan energi terbarukan.

Penerapan ULED menjadi kesempatan baik untuk semua wilayah dan kota di Indonesia mewujudkan mandiri energi. Rumusan kebijakan, adanya pengalaman keberhasilan konversi energi, dan *accessibility* dapat menjadi faktor pendukung keberhasilan mewujudkan ULED. Strategi pemerintah dalam sektor energi termuat dalam Keputusan Presiden No 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Di dalam kebijakan ini, hingga tahun 2025 menargetkan adanya peningkatan penggunaan energi terbarukan dari *geothermal* 23% menjadi 30%, biofuel lebih dari 5%, dan energi terbarukan lainnya dari 0.5% menjadi lebih dari 5%, serta adanya rencana perbaikan infrastruktur energi. Adanya dukungan legal dari kebijakan yang berlaku baik lokal maupun nasional membuka akses pengembangan energi terbarukan yang lebih terarah dan sistematis sehingga pencapaiannya pun dapat dirasakan manfaatnya bagi kota.

Kesempatan penerapan ULED tidak lepas dari kemauan masyarakat melakukan konversi energi dari *non-renewable* menuju *renewable energy*. Sejarah baik telah ada yaitu keberhasilan konversi energi dari minyak tanah ke elpiji yang dimulai sejak 2005. Sebelum konversi minyak tanah ke gas elpiji 3 kg, konsumsi minyak tanah nyentuh 10.1 juta kilo liter (kl) per tahun dan bahkan sampai 12 juta kl. Bukan tidak mungkin jika keberhasilan konversi ini akan terulang kembali saat mengembangkan ULED. Apalagi kesempatan ini disertai kesadaran bahwa Indonesia sebagai negara kepulauan sangat sulit menyediakan energi hanya dari satu lokasi sumber energi dikarenakan biaya infrastruktur yang mahal. Dari sisi *accessibility*, ULED merupakan jawaban untuk mengatasi kendala minimnya infrastruktur jaringan penyediaan energi dan penunjangnya. ULED yang dimiliki setiap kota akan membantu memenuhi kebutuhan energi lokal dari satu kota dan/atau beserta hinterlandnya, sehingga kemandirian energi dari setiap daerah dapat terwujud. Skala yang lebih kecil juga memungkinkan konversi energi dari sumber non-terbarukan ke sumber-sumber terbarukan menjadi lebih nyata penerapannya.

Tantangan klasik namun akan selalu menghantui negara-negara berkembang dalam mewujudkan ULED, diantaranya teknologi, anggaran dan investasi, serta keberadaan dan implementasi *urban planning*. Tantangan mengurangi penggunaan energi fosil melalui penyediaan teknologi cenderung meningkatkan biaya penyediaan

energi dan akses infrastruktur. Kota-kota di Indonesia masih disibukan dengan isu-isu pengentasan kemiskinan yang tidak memungkinkan untuk dinomorduakan setelah isu lingkungan. Anggaran dan investasi selalu menjadi momok besar karena hingga sekarang, pemerintah dengan paket kebijakannya belum memberikan dukungan bagi sektor privat untuk turut andil dalam proyek penyediaan energi. Padahal di negara-negara maju, sistem pendanaan dan investasi melalui *sharing* atau kolaborasi adalah kesempatan penerapan ULED. Tantangan tersebut menjadikan konversi energi non-terbarukan ke energi terbarukan di setiap kota menjadi sulit untuk diwujudkan, meskipun kelebihan dan kesempatan pengembangannya sangat besar. Selain itu, dapat dipastikan hampir seluruh kota di Indonesia tidak secara spesifik mengatur rencana sistem energi berkelanjutan dalam dokumen perencanaannya. RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) yang diturunkan ke dalam RUED (Rencana Umum Energi Daerah) memiliki kelemahan yaitu perencanaan energi tidak mengacu pada ruang dan kesulitan menyelaraskan dengan perencanaan sektor lain. Hampir semua kota di Indonesia tidak memiliki RUED dengan alasan kuat yang mendasarinya yakni kebutuhan energi suatu kota/daerah masih dipenuhi oleh daerah lain sehingga sulit dalam mengintegrasikan perencanaannya. Perencanaan ini yang sering kali dianggap tidak berarti, namun Amerika melalui '*master sustainability plan*' skala kotanya mampu bergerak secara terstruktur untuk mengganti *non-renewable energy* menjadi 100 persen *renewable energy*.

3. KESIMPULAN

Kebutuhan energi semakin meningkat dengan bertambahnya populasi. Sebesar 68% penduduk dunia tinggal di perkotaan dan mengonsumsi 75% energi global. Indonesia merupakan negara kepulauan yang masih bergantung pada *non-renewable energy*. Permasalahan yang muncul diantaranya isu keberlanjutan dan mahalnya infrastruktur transportasi energi. *Urban Local Energy Development* (ULED) merupakan pemanfaatan potensi sumber energi lokal untuk menyediakan kebutuhan energi lokal, serta menitikberatkan pada sumber-sumber terbarukan (*Urban renewable energy*). *Urban renewable energy* dapat bersumber dari air dan gelombang, *micro hydro*, angin, surya, *geothermal*, dan biomassa. Penggunaan energi terbarukan memiliki empat kunci keberhasilan yaitu *availability*, *accessibility*, *affordability*, dan *acceptability*. Selain itu, beberapa faktor seperti rumusan kebijakan, partisipasi, kemauan konversi energi, dan *urban planning* telah terbukti mendukung keberhasilan di beberapa kota di Jepang dan Amerika.

Dilalui garis katulistiwa, beriklim tropis, memiliki garis pantai yang panjang, hingga banyaknya gunung berapi aktif menjadikan semua daerah di Indonesia memiliki potensi energi terbarukan lokal seperti air dan gelombang, *micro hydro*, angin, surya, *geothermal*, dan biomassa sebagai kekuatan dalam penerapan ULED. Pemilihan penggunaan sumber energi terbarukan di perkotaan disesuaikan dengan potensi, karakteristik kota, juga kepadatan energi. Akan tetapi penerapan ULED memiliki kelemahan diantaranya lemahnya daya beli konsumen dan partisipasi masyarakat. Meski demikian, dukungan rumusan kebijakan, pengalaman keberhasilan konversi energi, dan faktor aksesibilitas semakin memperkuat kemungkinan Indonesia mampu melakukan diversifikasi bahkan berdaulat di bidang energi. Agar mampu mewujudkan ULED yang berbasis pada sumber-sumber energi terbarukan, seluruh kota di Indonesia harus mengambil langkah berani meningkatkan teknologi, menyediakan anggaran dan investasi dalam jumlah yang besar, serta merencanakan dan mengawal implementasi pembangunan berkelanjutan di dalam *urban planning*. Jika dilakukan pemanfaatan potensi dan kesempatan secara efektif, perbaikan kelemahan, dan penyelesaian tantangan bukan tidak mungkin Indonesia dapat menerapkan *local energy* dari sumber-sumber terbarukan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asian Development Bank. 2015. "Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment". Diunduh dari <https://www.adb.org/>.
- Biro Analisa Anggaran dan Pelaksanaan APBN DPR RI. 2012. "Simulasi Kenaikan Harga, Sensitivitas APBN, Dan Tanggapan Terhadap 3 Opsi Pemerintah," 1–5. www.dpr.go.id/.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). 2017. "Hebat, Indonesia Salah Satu Negara Dengan Tingkat Efisiensi Energi Tertinggi! - Kementerian ESDM Republik Indonesia". Diakses dari <http://ebtke.esdm.go.id/>.
- Greg Pahl. 2013. "Local and Regional Renewable Energy Resources - Environment - Utne Reader." <http://www.utne.com/environment/renewable-energy-resources-ze0z1301zsau>.
- Hamdi, Saipul. 2013. "Mengenal Lama Penyinaran Matahari Sebagai Salah Satu," 7–16.
- I. E. A. 2008. *Energy Policy Review of Indonesia*.
- Indriyanto, Asclepias Rachmi Soerjono. 2010. "Energi Rendah Emisi Masalah Teknologi, Ekonomi, Atau Politik?" In *Perubahan Iklim Dan Tantangan Peradaban*, 53–60. Jakarta: LP3ES.
- Kammen, Daniel M, and Deborah A Sunter. 2016. "City-Integrated Renewable Energy for Urban Sustainability." *Science* 352 (6288): 922–28. doi:10.1126/science.aad9302.
- Madlener, Reinhard, and Yasin Sunak. 2011. "Impacts of Urbanization on Urban Structures and Energy Demand : What Can We Learn for Urban Energy Planning and Urbanization Management?" *Sustainable Cities and Society* 1 (1). Elsevier B.V.: 45–53. doi:10.1016/j.scs.2010.08.006.
- Numberi, Freddy. 2011. "Transportasi Dan Perubahan Iklim: Kontribusi Transportasi Indonesia Dalam Rangka Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca." PT Bhuana Ilmu Populer.
- Nurudin Abdullah. 2016. "Kebutuhan Energi: Indonesia Tertinggi Di Asean." <http://jakarta.bisnis.com/read/20160218/44/520275/kebutuhan-energi-indonesia-tertinggi-di-asean>.
- Pantaleo, Antonio M.; Shah, Nilay; Keirstead, James. 2013. "Bioenergy and Other Renewables in Urban Energy Systems." In *Urban Energy Systems: An Integrated Approach*, 96–117. New York: Routledge.
- Prasojo, Hendris Agung. 2016. "Indonesia Energy Consumption" 8 (93): 5021–32.
- Sen, Souvik, and Sourav Ganguly. 2015. "Opportunities, Barriers and Issues with Renewable Energy Development - A Discussion." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. May. Elsevier: 0–1. doi:10.1016/j.rser.2016.09.137.
- Sukarno, Iwan, Hiroshi Matsumoto, Lusi Susanti, and Ryushi Kimura. 2015. "Urban Energy Consumption in a City of Indonesia : General Overview." *International Journal of Energy Economics and Policy* 5 (1): 360–73.
- The Renewables 100 Policy Institute. 2010. "Go 100% Renewable Energy : City of Greensburg, Kansas." <http://www.go100percent.org/>.
- United Nations. 2007. "World Urbanization Prospects The 2007 Revision Highlights." *Desa ESA/P/WP/2* (4): 883. doi:10.2307/2808041.
- Utama, Fhirlian Rizqy. 2016. "7 Kota Yang Terapkan Energi Terbarukan : Okezone Ekonomi." <http://economy.okezone.com/read/2016/06/24/470/1424276/7-kota-yang-terapkan-energi-terbarukan>.
- Woodard, Colin. 2016. "America's First All-Renewable-Energy City - POLITICO Magazine." <http://www.politico.com/magazine/story/2016/11/burlington-what-works-green-energy-214463>.
- Zed, M. 2004. *Metode Peneletian Kepustakaan*. Yayasan Obor Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=iIV8zwHnGo0C>.

KINCIR ANGIN SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR 1KW

Iswanjono¹, Wihadi D.², Martanto¹

¹Electrical Engineering, Science and Technology Faculty, Sanata Dharma University
Yogyakarta, Indonesia

²Mechanical Engineering, Science and Technology Faculty, Sanata Dharma University
Yogyakarta, Indonesia

E-mail: iswan_id@usd.ac.id

ABSTRACT

By 2015 we have designed and implemented a wooden propeller windmill with diameters of 100, 200, and 300 cm and tested on the street at Jl. Pantai Samas – Pantai Baru, Bantul Yogyakarta at wind speeds up to 16 mps. From the test results with a 48V, 18A electric generator and the load used 2 units of accumulator 12V mounted series, obtained rotation shaft up to 360 rpm with power reaches 350 W. The year 2016 is upgraded to enable a 1 kVA generator with a load is a battery of accumulator 3 pieces 12 volt mounted series and refinement data logger and telemetry data acquisition system. Parameters measured in data logger and data acquisition systems are generator voltages, load currents, speed of the mill shaft, and wind speed, and wind direction. Current sensors can measure up to 25 A, voltage 60 V, shaft speed has a precision of 2%, wind speed reaches 0.5% accuracy, and wind direction has storage up to 3%. From the windmill system test, the maximum power generator generated is 740 watts, maximum shaft speed 440 rpm, and wind speed for battery charging works at 4 - 16 mps.

Keywords: windmill, wooden propeller, electrical energy, high wind speed.

1. PENDAHULUAN

Desa Laktutus terletak di ujung timur wilayah Atambua, merupakan daerah perbatasan negara dengan Timor Leste. Kontur wilayahnya berbukit-bukit, tanahnya berkapur dan tandus. Meskipun disana-sini terdapat tumbuhan tegakan, akan tetapi banyak hamparan ladang luas yang hanya ditumbuhi rerumputan. Suhu udaranya dingin dan lembab seperti pada umumnya daerah pegunungan tinggi.

Salah satu potensi alam yang hampir sepanjang tahun tersedia adalah angin dengan kecepatan yang relatif tinggi, sekitar 10 – 12 m/dtk. Pada kondisi puncaknya, potensi ini dapat menggapai kecepatan 18 m/dtk. Sebagai perbandingan, kecepatan rata-rata angin di pantai selatan DIY hanya 3 – 4 m/dtk. Hampir setiap puncak bukit di Laktutus menjadi tempat yang berangin kencang hingga sangat kencang, seperti di puncak bukit Laktutus, puncak Heliwen dan puncak Webmotis. Dari observasi singkat pada kincir sederhana model Rembang, diperoleh data-data sebagai berikut. Kincir angin pada umumnya bersudu 4. Sudu dibentuk dari dua bilah papan dengan panjang jari-jari antara 1,3 – 1,6 meter, dan lebar 0,35 meter. Tinggi tiang kincir rata-rata 1,5. Hasil pengukuran ditambah belakang SPBU Tambakagung, pada kecepatan angin rerata 30 km/jam (sekitar 8 m/detik), kecepatan putar poros kincir 120 rpm dengan beban pompa air yang tidak terukur.

Profil sudu kincir di Rembang dibentuk oleh dua bilah papan yang kurang lebih lebarnya sama. Antar kedua papan membentuk sudut kurang lebih 150°-160°, dan dipasang pada poros dengan bantuan besi profil siku yang dilas dengan kemiringan 10° dari bidang normal sumbu poros. Susunan bilah sudu tersebut sedemikian sehingga menghasilkan gaya *lift* yang menyebabkan perputaran kincir dan gaya *drag* yang searah dengan sumbu poros.

Beberapa hasil penelitian sejenis yang terkait dengan turbin angin jenis propeler tiga sudu dapat dijadikan sebagai perbandingan. Pengujian terhadap kincir bersudu datar oleh Kim, B.T. [1] dalam ringkasan proyeknya memberikan kesimpulan bahwa kincir dengan pitch angle sudu 10° berputar lebih cepat saat tidak dibebani, tetapi setelah dibebani ternyata kincir dengan *pitch angle* sudu 15° memberikan daya yang paling tinggi. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Musyafa, A dan Noriyati, R.D. [2], terhadap kincir dengan sudu air foil standar NACA 0012 menunjukkan hasil bahwa koefisien daya puncak maksimum yang dihasilkan adalah sekitar 0,3 pada tip speed ratio (tsr) sekitar 19 yang dicapai oleh kincir dengan pitch angle sudu 16,8°. M. Predescu, dkk. [3] telah melakukan penelitian terhadap tiga variasi jumlah sudu turbin angin tipe NACA449 yang dimodifikasi dan memperoleh hasil bahwa pada kecepatan angin 6,5 m/s dan tip angle 0°, turbin tiga sudu memberikan koefisien daya puncak sekitar 0,49 pada tsr 5,0 yang sedikit lebih tinggi dari yang diberikan oleh turbin dua sudu.

Penelitian sejenis lainnya adalah yang dilakukan oleh Fei-Bin Hsiao, dkk. [4] terhadap tiga variasi geometri pada sudu turbin angin propeler tiga sudu tipe airfoil NACA4418 dan menunjukkan hasil bahwa koefisien daya puncak tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan sudu bentuk optimum (OPT blade), yakni sebesar 0,428 pada tsr 4,92. Smith, J [5], yang juga telah melakukan penelitian serupa (hanya saja menggunakan empat sudu yang menyerupai bentuk propeler pesawat terbang dalam makalahnya menyimpulkan bahwa kincir dengan *pitch angle* sudu 15°

memberikan putaran paling tinggi. Selain itu Rector, M.C. dan Visser, K [6] menyebutkan bahwa kincir standar tiga sudu Bergy XL.1 dari hasil kajian numerik menunjukkan bahwa kincir dengan *pitch angle* 10° memberikan koefisien daya puncak 20% lebih tinggi dibandingkan dengan yang diberikan oleh kincir dengan *pitch angle* sudu 20°. Telah dilakukan pula penelitian terhadap model-model turbin angin propeler tiga sudu datar berbentuk persegi panjang, Rines [7], yang memberikan hasil bahwa koefisien daya puncak tertinggi dicapai oleh model turbin dengan lebar sudu 15 cm dan *pitch angle* 10°, yakni sekitar 0,3 pada *tsr* optimal 3,1.

Angin yang merupakan udara bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah memiliki energi kinetik, E_k , yang besarnya bergantung pada massa udara, m , dan kecepatannya, v_w , yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m v_w^2 \quad (1)$$

Oleh karena daya adalah energi persatuan waktu, maka Pers. (1) di atas, dapat dikembangkan ke dalam bentuk hubungan daya, P_w , massa udara per satuan waktu, m/t , dan kecepatan angin, v_w , sebagai berikut:

$$P_w = \frac{1}{2} \frac{m}{t} v_w^3 \quad (2)$$

Bila udara diasumsikan mengalir dengan kecepatan v_w yang konstan, di dalam sebuah saluran khayal yang prismatis dan tertutup dengan luas penampang aliran, A , maka laju aliran udara, Q_w , yang melintasi saluran tersebut, berdasarkan prinsip kontinuitas dapat diungkapkan sebagai berikut:

$$Q_w = A v_w \quad (3)$$

Dengan menandai densitas udara dengan ρ , maka massa udara persatuan waktu yang melintasi saluran khayal tersebut dapat dihitung dengan mengembangkan Pers.(3) menjadi

$$m/t = Q_w \rho = \rho A v_w \quad (4)$$

Selanjutnya, Pers.(2) dapat dituliskan menjadi

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v_w^3 \quad (5)$$

Daya output, P_o , yang dihasilkan kincir, dapat dihitung berdasarkan besar beban atau torsi, T , yang diberikan pada poros kincir dan kecepatan putar, n , yang dihasilkan kincir adalah:

$$P_o = \frac{\pi T n}{30} \quad (6)$$

Untuk menentukan nilai-nilai koefisien daya, C_p , daya output terhitung, P_o , selanjutnya dibandingkan dengan daya teoritis yang diberikan oleh angin, P_w , yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_p = \left(\frac{P_o}{P_w} \right) \times 100\% \quad (7)$$

Koefisien daya ini akan digambarkan hubungannya dengan *tip speed ratio* (*tsr*) yang merupakan perbandingan kecepatan keliling lingkaran terluar rotor kincir dengan kecepatan angin, v_w ,

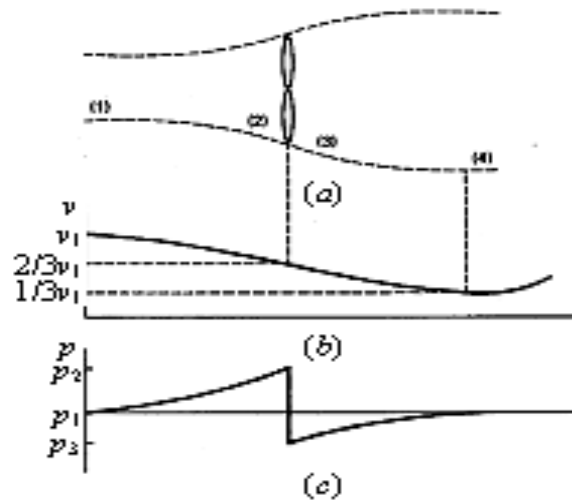
$$tsr = \frac{\pi r_k n}{30 v_w} \quad (8)$$

dengan:

- n : kecepatan putar atau putaran per menit (rpm) poros kincir dan
- r_k : jari-jari kincir.

Kecepatan angin, v_w , yang dimaksudkan pada persamaan-persamaan di atas adalah kecepatan angin bebas yang menghampiri kincir angin sebelum mengalami gangguan ketika mendekati kincir. Kondisi fisik turbin angin yang dipakai untuk menggerakkan sejumlah besar massa udara akan mengubah kecepatan dan tekanan udara setempat, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam gambar ditunjukkan sebuah kincir tipe propeler bersumbu

horizontal yang menerima hembusan angin dari sebelah kiri. Dalam hal ini, gerakan udara dipandang membentuk sebuah saluran berbentuk pipa. Diameter mula-mula pipa angin dinyatakan sebagai d_1 , kecepatan angin mula-mula, sebelum terganggu, dinyatakan dengan v_1 , dan tekanan udara mula-mula p_1 .



Gambar 1. (a) Saluran berbentuk pipa yang menggambarkan aliran udara yang melintasi turbin angin ideal, (b) perubahan kecepatan udara dan (c) perubahan tekanan udara, dari kondisi sebelum terganggu dan setelah melewati kincir angin [8].

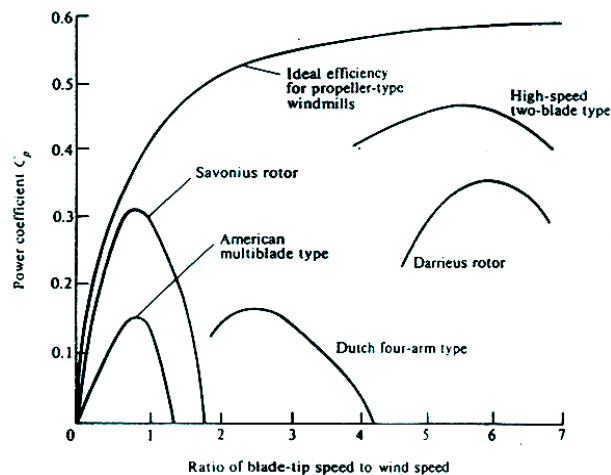
Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1(b), ketika mengenai kincir [posisi (2)] kecepatan angin akan menurun hingga mencapai $2/3$ dari kecepatan angin mula-mula dan terus menurun setelah melewati kincir angin [posisi (3)] hingga mencapai $1/3$ dari kecepatan angin mula-mula pada posisi (4). Setelah mencapai posisi (4), kecepatan angin akan meningkat dan kembali sama besar dengan kondisi mula-mula. Bila luas penampang angin mula-mula pada Gambar 1(a) dinyatakan sebagai A_1 dan luas penampang pipa angin ketika mencapai posisi (4) dinyatakan dengan A_4 , maka pada kondisi yang optimal $A_4 = 3 A_1$. Daya mekanis ideal yang dapat diekstraksi selanjutnya merupakan perbedaan antara daya input dan daya output:

$$P_{ideal} = P_1 - P_4 = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_4 v_4^3) = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{8}{9} A_1 v_1^3 \right) \quad (9)$$

Bila luas penampang pipa angin A_1 pada Pers.(9) digantikan dengan luas penampang pipa angin pada posisi (2) atau sama dengan luas sapuan kincir, A_2 , dimana $A_1 = 2/3 A_2$, maka Pers.(2-9) di atas dapat dituliskan menjadi:

$$P_{ideal} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{8}{9} \cdot \frac{2}{3} A_2 v_1^3 \right) = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{16}{27} A_2 v_1^3 \right) \quad (10)$$

Hal ini menunjukkan bahwa sebuah kincir yang ideal dapat mengekstraksi daya $16/27$ atau $0,593$ dari daya yang disediakan angin. Faktor ini biasanya disebut sebagai koefisien Betz (*Betz coefficient*). Dalam kenyataannya, daya angin yang diekstraksi dengan memakai kincir aktual selalu lebih kecil dari nilai ini. Nilai koefisien daya, C_p , puncak yang dicapai oleh kincir aktual yang sudah dianggap baik adalah sekitar $35 - 40$ persen dalam kondisi optimal [8]. Dalam Gambar 2 ditunjukkan hubungan antara koefisien daya dan *tip speed ratio* untuk beberapa jenis kincir yang telah banyak dikenal.

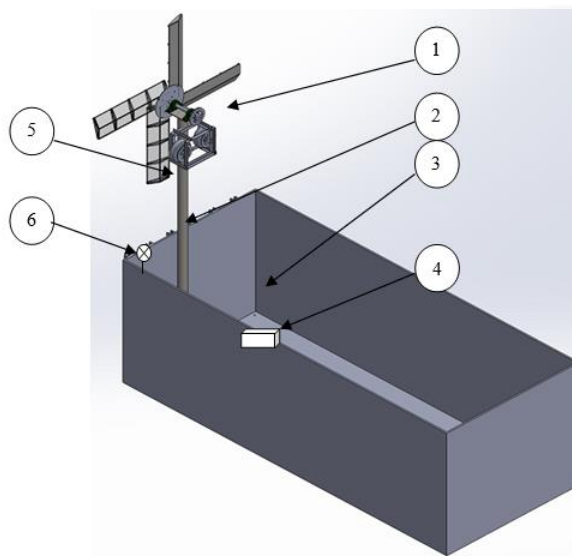


Gambar 2. Kurva hubungan koefisien daya, C_p , dan *tip speed ratio*, tsr , untuk berbagai tipe kincir angin standar [8].

2. METODE PENELITIAN

Pengukuran data dalam penelitian ini tidak dapat dilakukan di dalam laboratorium Konversi Energi Teknik Mesin-Universitas Sanata Dharma oleh karena ukuran kincir terlalu besar dan kecepatan angin yang dibutuhkan diluar kemampuan wind tunnel yang ada. Seperti telah dikemukakan sebelumnya, kecepatan angin yang hendak diterapkan mirip yang pernah diukur di Atambua, yaitu sekitar 15 meter/detik (sekitar 54 km/jam).

Dalam pengukuran data rangkaian kincir beserta peralatan pengukur dan pencatat data akan ditempatkan di atas sebuah kendaraan pendulang angin (Gambar 3). Rangkaian dibuat sedemikian rupa agar stabil dan pengambilan data dapat dilakukan dengan baik. Selanjutnya kendaraan beserta seluruh peralatan akan dijalankan pada kecepatan yang konstan, dengan kondisi peralatan pengukur kecepatan angin menunjukkan angka di 15 meter/detik. Pada keadaan yang stabil tersebut seluruh data akan diukur secara simultan.



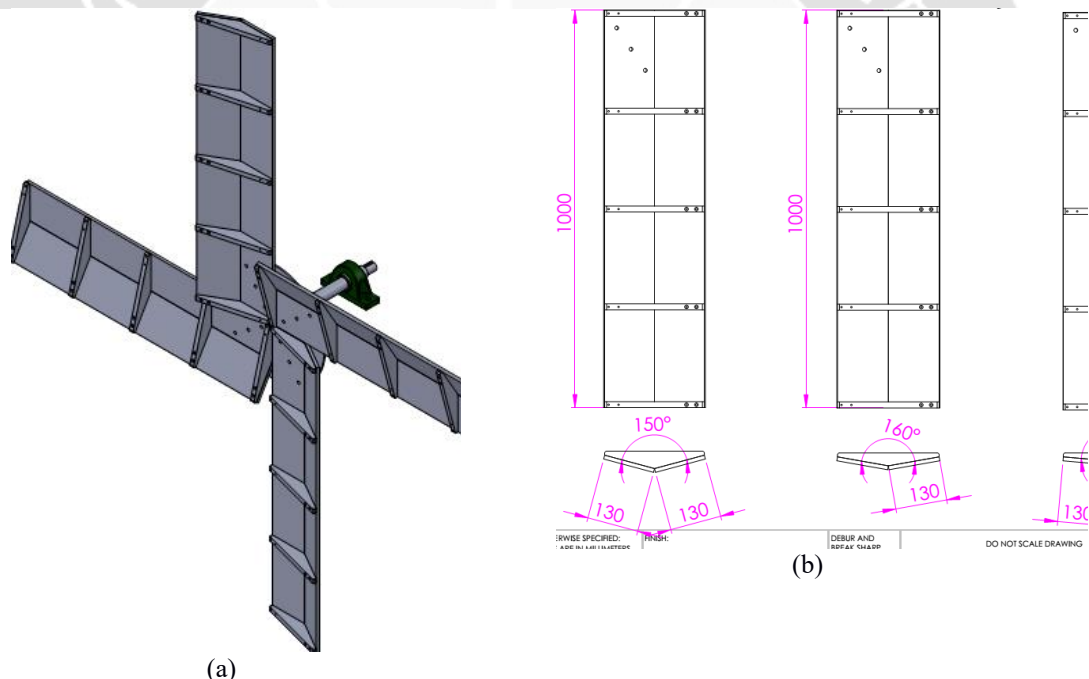
Gambar 3. Setting Pengujian Kincir

Keterangan Gambar 3.:

1. Kincir angin dengan berbagai variasi
2. Unit penyangga kincir angin
3. Unit kendaraan pendulang angin
4. Alat ukur dan perekam data
5. Generator listrik
6. Anemometer

Jenis peralatan yang dipergunakan dalam pengumpulan data adalah sebagai berikut.

1. Kincir angin berdiameter 1 meter, 2 meter dan 3 meter yang terbuat dari material local, yaitu kayu. Sudu kincir mengadopsi sudu kincir Rembang. Terdapat 3 set sudu yang masing-masing berbeda posisi sudutnya sesuai dengan kebutuhan penelitian seperti pada Gambar 4.
2. Konstruksi penyangga kincir yang disusun dari pipa besi SNI berdiameter 4 *inchi*. Dari uji statik rangka batang penyangga kincir diperoleh harga angka keamanan (FOS criteria Von Mises) sebesar 2,7. Hal ini mengandung arti bahwa rancangan komputerais pada konstruksi penyangga kincir dapat menyangga beban yang diberikan dengan baik.
3. Kendaraan bak terbuka, yang ditujukan untuk menghasilkan kecepatan angin sesuai kebutuhan penelitian. Seperti telah diuraikan pada bagian sebelumnya bahwa dibutuhkan angin dengan kecepatan hingga 15 meter/detik atau sekitar 54 km/jam untuk mendekati kecepatan angin yang ada di Atambua.
4. Peralatan akuisisi data kecepatan angin. Peralatan ini mempergunakan rangkaian elektronik berbasis mikrokontroler yang antara lain terdiri dari sensor-sensor, pengondisi sinyal, Analog to Digital Converter (ADC), Mikrokontroler dan penampil. Pada pengujian ini parameter yang diukur adalah tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator listrik. Kedua parameter tersebut digunakan untuk menghitung daya dan energi yang dihasilkan selama pengujian dengan berbagai kecepatan angina dan diameter sudu.
5. Generator DC yang diadopsi dari sepeda listrik dengan tegangan maksimum 48 volt dan arus 18 ampere.
6. Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Kecepatan angin yang diukur adalah kecepatan kendaraan pendulang angina, dimana kendaraan diatur pergerakannya dengan memperhatikan besar kecepatan angin yang terukur anemometer.



(a)
Gambar 4. Detail variasi sudu-sudu kincir. (a) Profil Kincir; (b) Dimensi Kincir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Kincir Angin

Sesuai dengan tujuan dan metode yang telah ditentukan, pada penelitian ini telah didesain kincir angin dari bahan kayu jati. Desain yang telah diimplementasikan adalah sebagai berikut:

- Kincir diameter 100 cm (Gambar 5(a));
- Kincir diameter 200 cm (Gambar 5(b));
- Kincir diameter 300 cm (Gambar 5(c));

3.2 Uji Coba

Uji coba lapangan dilakukan di Jl. Pantai Samas, Sanden, Bantul, Yogyakarta dengan jarak lintasan (jalan) adalah 1100 m. Parameter yang diukur pada uji coba tersebut adalah kecepatan angin, tegangan dan arus generator yang digunakan untuk pengisian *accumulator*.

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam uji coba adalah sebagai berikut:

- a. Kincir berbagai ukuran
- b. Tiang penyangga kincir
- c. Generator listrik (tegangan maksimum 48 volt, arus 18 ampere)
- d. Anemometer
- e. Armada (Truk) untuk mendulang angin
- f. *Data logger* (Tegangan maksimum yang dapat diukur 60 volt, Arus 20 ampere)
- g. *Accumulator* (2 buah, 12 volt)
- h. Beban lampu dc
- i. Kabel dan konektor
- j. *Multimeter*
- k. *Tool kit set*



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Desain kincir propeler berbahan kayu:
(a) \varnothing 100cm; (b) \varnothing 200cm; (c) \varnothing 300cm.

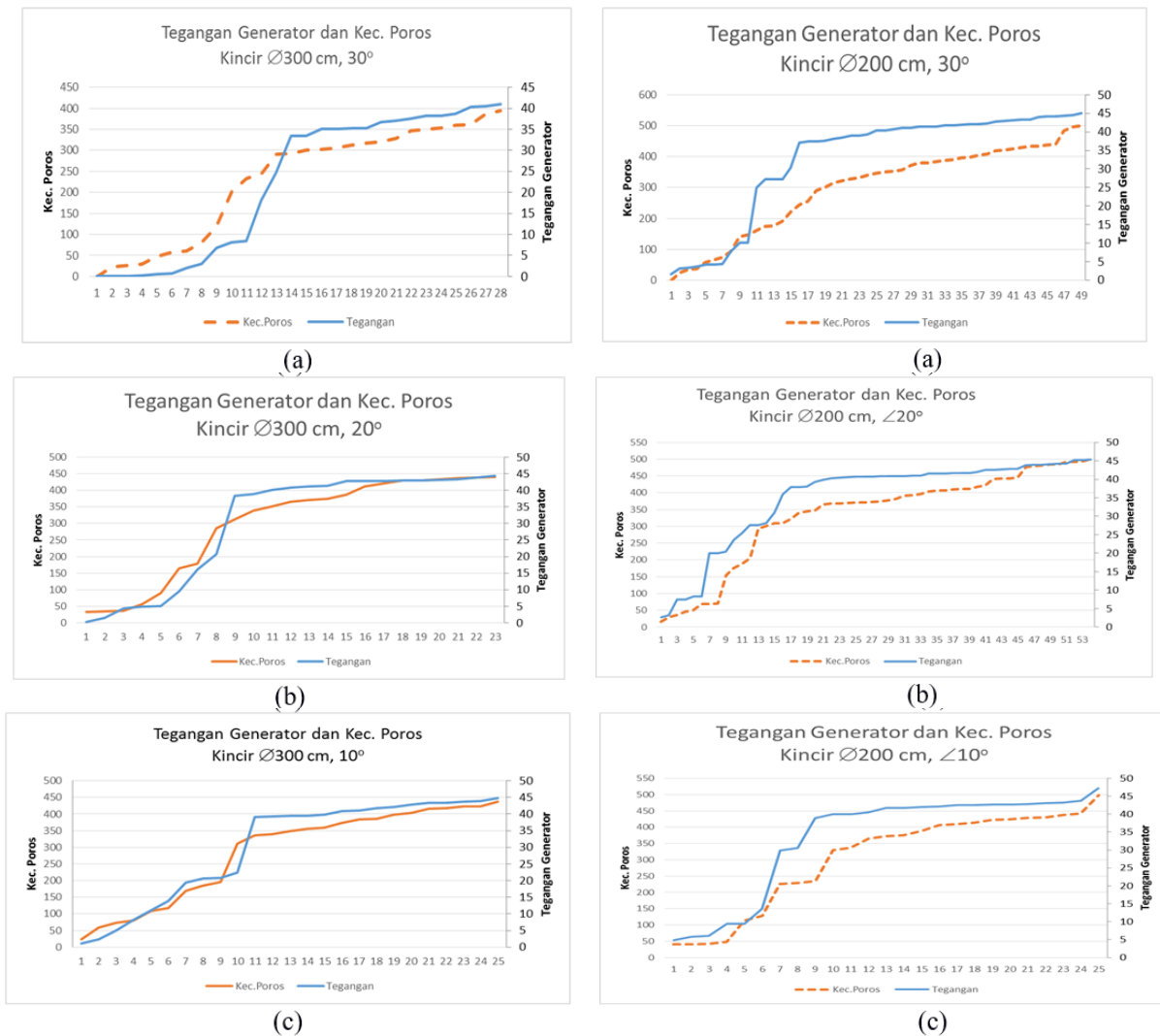
Diameter sudu kincir angin yang telah adalah 100 cm, 200 cm, dan 300 cm. Dari hasil pengujian kincir angin untuk menggerakkan generator listrik 350 watt, kincir angin berdiameter 100 cm hanya mampu menggerakkan generator pada kecepatan poros kurang dari 200 rpm pada kecepatan angin lebih dari 11 m/s dan beban 2 buah baterai aki 12 volt, 65AH yang dihubungkan seri[9]. Untuk itu kincir angin dengan diameter 100 cm tidak digunakan untuk penggerak generator listrik 1 kW.

Pada uji sistem kincir angin sebagai penggerak generator listrik 1 kVA dengan tegangan maksimum 48 volt dan arus maksimum 36 ampere. Beban yang digunakan adalah tetap yaitu 3 buah baterai 12 volt, 65 AH yang dihubungkan secara seri sehingga dihasilkan sistem beban 36 volt 65 AH (2340 VAH). Kincir angin yang digunakan adalah berdiameter 200 cm dan 300 cm dengan masing-masing mempunyai pitch angle 10°, 20°, dan 30°.

Parameter yang diukur pada uji sistem ini adalah kecepatan putar atau kecepatan poros kincir, kecepatan angin, tegangan generator, dan arus beban. Kecepatan putar poros generator listrik adalah sama dengan kecepatan poros kincir.

3.2.1 Hasil uji kecepatan poros dan tegangan

Hubungan kecepatan poros dan tegangan generator pada setiap kincir adalah ditunjukkan pada Gambar 6. untuk kincir angin berdiameter 300 cm dan Gambar 7 untuk kincir angin berdiameter 200 cm. Dari gambar 6 dan 7 dapat dilihat bahwa tegangan generator yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan kecepatan poros. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan.



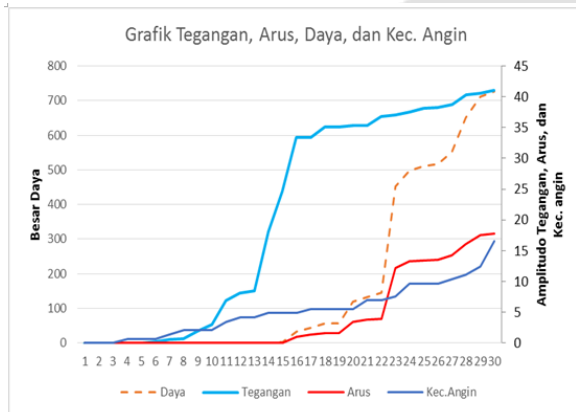
Gambar 6. Hubungan tegangan generator dan kecepatan poros kincir angin sumbu horizontal diameter 300cm (a) $\angle 30^\circ$; (b) $\angle 20^\circ$; (c) $\angle 10^\circ$.

Gambar 7. Hubungan tegangan generator dan kecepatan poros kincir angin sumbu horizontal diameter 200cm (a) $\angle 30^\circ$; (b) $\angle 20^\circ$; (c) $\angle 10^\circ$.

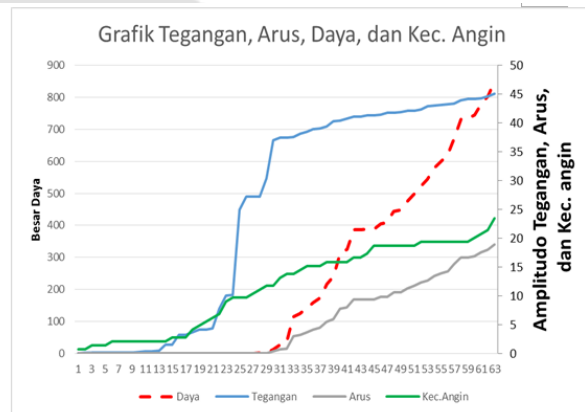
3.2.2 Hasil uji kecepatan angin dan daya beban

Beban yang digunakan pada uji kincir penggerak generator 1 KVA ini adalah tetap, yaitu 3 buah baterai aki 12V-65AH yang dipasang seri. Sebelum digunakan sebagai beban aki hanya boleh terisi maksimum 50%, agar supaya proses pembebanan tidak terganggu. Tegangan pengisian 3 buah baterai yang dihubungkan seri adalah 36 volt, sehingga diperlukan tegangan pengisian (tegangan generator) lebih dari 36 volt. Makin tinggi kecepatan poros akan menghasilkan tegangan yang semakin besar, sehingga arus listrik dapat masuk ke aki untuk melakukan pengisian.

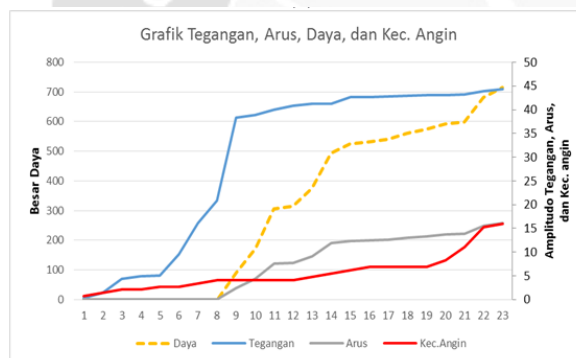
Dari hasil uji diperoleh hubungan daya beban dan kecepatan angin sebagai ditunjukkan Gambar 8 untuk kincir angin sumbu horisontal berdiameter 300 cm dan Gambar 9 untuk kincir angin sumbu horisontal berdiameter 200 cm.



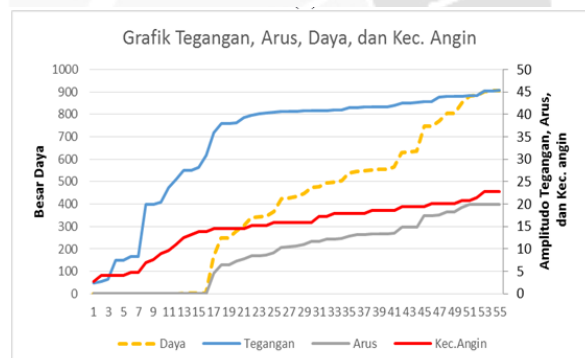
(a)



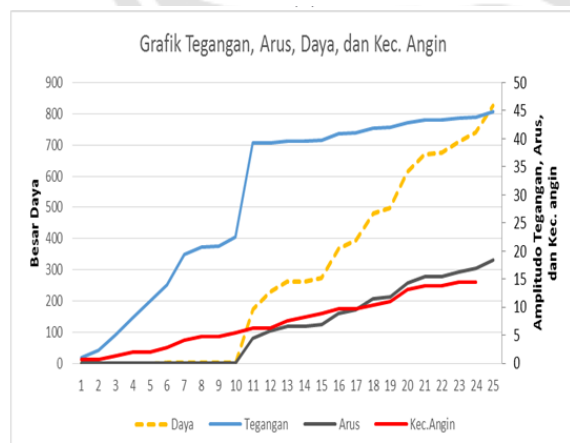
(a)



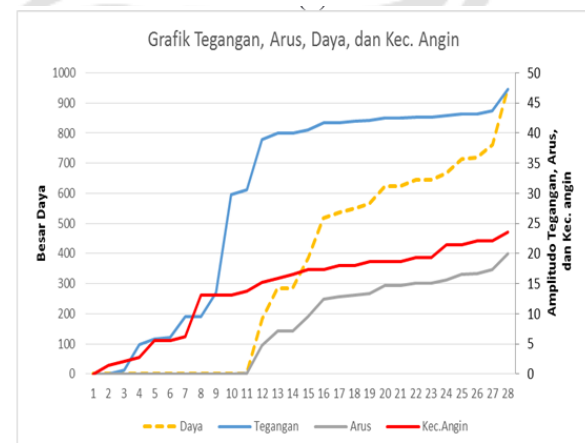
(b)



(b)



(c)



(c)

Gambar 8. Grafik hubungan tegangan, daya, arus, dan kecepatan angin kincir angin sumbu horisontal Ø300 cm: (a) $\angle 30^\circ$; (b) $\angle 20^\circ$; (c) $\angle 10^\circ$.

Gambar 9. Grafik hubungan tegangan, daya, arus, dan kecepatan angin kincir angin sumbu horisontal Ø200 cm: (a) $\angle 30^\circ$; (b) $\angle 20^\circ$; (c) $\angle 10^\circ$.

Dari Gambar 8 dan 9 ditunjukkan bahwa pengisian baterai aki akan terjadi jika tegangan telah mencapai lebih dari 36 volt. Titik awal kerja pengisian baterai tersebut dapat dipenuhi oleh setiap kincir angin pada berputar pada kecepatan poros tertentu. Untuk Gambar 8(a) kincir angin berdiameter 300cm, pitch angle 30° arus mulai mengalir pada kecepatan angin 4.15 m/s. Gambar 8(b) kincir angin berdiameter 300cm, pitch angle 20° arus mulai mengalir pada kecepatan angin 4.48 m/s. Dan Gambar 9(c) kincir angin berdiameter 300cm, pitch angle 10° arus mulai mengalir pada kecepatan angin 5.53 m/s. Sedangkan untuk kincir angin berdiameter 200cm, arus pengisian mulai mengalir pada kecepatan 11.0 m/s, 12.44 m/s, dan 13,80 masing-masing untuk pitch angle 30°, 20°, dan 10°.

4. KESIMPULAN

Desain kincir dengan berbagai ukuran diameter dan pitch angle dapat memberikan diskripsi kinerja kincir angin terhadap energi yang diperoleh:

1. Kincir angin berdiameter 300 cm mampu berputar untuk menghasilkan energi pada kecepatan angin mulai 4 m/s.
2. Kincir angin berdiameter 200 cm mampu berputar untuk menghasilkan energi pada kecepatan angin mulai 11 m/s.
3. Daya yang dihasilkan pada kincir angin ini dapat mencapai 750 watt pada putaran poros 450 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- Kim, B.T., 2005, "The Effect of the Blade's Pitch Angle on Wind Power", 21 Februari 2012, <http://www.usc.edu/CSSF/History/2005/>.
- Musyafa, A. dan Noriyati, R.D. "Implementation of Pitch Angle Wind Turbine Position for Maximum Power Production", Academic Research International, Vol. 3, No. 1, July 2012, hal 510-518.
- Predescu, M., Bejinariu, A., Mitroi, O. and Nedelcu, A., 2009, "Influence of the Number of Blades on the Mechanical Power Curve of Wind Turbines," International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'09), Valencia (Spain), 15th to 17th April, 2009.
- Hsiao, F.B., Bai, C.J. and Chong, W.T. "The Performance Test of Three Different Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Blade Shapes Using Experimental and Numerical Methods", Energies 2013, Vol.6, pp. 2784-2803, 5 June 2013.
- Smith, J., 2010, The Effect of Blade Angle on Wind Turbine Efficiency, 21 Februari 2012, www.washloc.k12.oh.us/.
- Rector, M.C. dan Visser, K., 2005, The Effect of Blade Pitch on Small Multi-Bladed Horizontal-Axis Wind Turbines, 21 Februari 2012, www.clarkson.edu/honors/.
- Rines, "Investigasi Pengaruh Pitch Angle terhadap Unjuk Kerja pada Model Kincir Angin Bersudu Datar Persegi Panjang", Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin 8, hal K27-K32, 20 Juni 2013.
- Johnson, G.L., 2006, Wind Energy Systems, Electronic Edition, 9 Januari 2009, <http://www.eece.ksu.edu/~gjohnson/>.
- Wihadi, D., Iswanjono, dan Rines, 2015, *Kincir Angin Propeler Berbahan Kayu untuk Kecepatan Angin Tinggi*, Jurnal Media Teknika, Vol. 10, No. 2, Desember 2015.

OPTIMALISASI GEDUNG PARKIR DI BANDAR UDARA MENGGUNAKAN SISTEM SMART PARKING, STUDI KASUS BANDAR UDARA SULTAN AJI MUHAMMAD SULAIMAN SEPINGGAN, BALIKPAPAN

Israni Silvia Sujarmanto¹, Tutik Rahayu Ningsih², Paramita Waluyo³

*Program Pascasarjana, Magister Teknik Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
(isranisilvia@gmail.com)*

ABSTRAK

Bandar Udara merupakan salah satu penggerak ekonomi suatu daerah di bidang prasarana udara. Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman merupakan sarana pokok sektor transportasi udara di Balikpapan yang mengalami peningkatan jumlah penumpang rata-rata 13% per tahun. Kenaikan tersebut mengakibatkan tingginya kebutuhan terhadap ruang parkir. Tingginya frekuensi kedatangan dan keberangkatan termasuk pengantar dan penjemput di Bandar Udara memungkinkan terjadinya penumpukan kendaraan pada saat parkir. Kurangnya informasi mengenai lahan parkir yang kosong, parkir paralel yang menyulitkan pengendara, terlebih sistem parkir inap yang rumit dan faktor kelalaian manusia dalam mengingat tempat parkir di dalam gedung membuat pengendara enggan memarkirkan kendaraannya di gedung parkir. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi lapangan, wawancara mendalam, dan pemetaan sirkulasi alur parkir. Hasil penelitian ini berupa redesign gedung parkir Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman dengan menggunakan sistem smart parking. Dalam pengembangan desain Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman, ada aspek penting yang harus diperhatikan yaitu jalur sirkulasi dan sistem parkir pada gedung.

Keywords : Bandar Udara, Parkir, Smart Parking

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Bandar Udara merupakan salah satu penggerak ekonomi suatu daerah di bidang prasarana udara. Bandar udara berkembang menjadi sebuah pusat kegiatan bisnis, yang di dalamnya terdapat beragam fasilitas penunjang yang dibutuhkan oleh para pengguna jasa bandar udara (Haryanto, 2012). Mulai tahun 1990-an model bisnis bandara telah bertransformasi dengan menerapkan konsep “airport city”, yang memberikan berbagai macam pelayanan yang tidak hanya terbatas untuk penerbangan namun juga memberikan pelayanan non-aeronautika (Haryanto, 2012).

Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman merupakan salah satu bandara di Indonesia yang berfungsi sebagai penunjang sektor transportasi udara di Balikpapan. Sebagai penunjang sektor transportasi, Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman mengalami peningkatan jumlah penumpang pesawat udara yang memberi dampak bagi industri pengelolaan jasa kebandarudaraan (Haryanto, 2012). Menurut Direktur Utama PT AP I, Tommy Soetomo jumlah penumpang mengalami peningkatan rata-rata 13% per tahun (Daily, 2013). Kenaikan tersebut mengakibatkan tingginya kebutuhan terhadap ruang parkir. Zaman sekarang hampir setiap orang menggunakan kendaraan pribadi untuk mobilitasnya. Tingginya frekuensi kedatangan dan keberangkatan termasuk pengantar dan penjemput di Bandar Udara memungkinkan terjadinya penumpukan kendaraan pada saat parkir.

Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman memiliki fasilitas berupa gedung parkir yang terletak terpisah dengan gedung keberangkatan dan kedatangan, lebih tepatnya terletak berseberangan dengan gedung keberangkatan dan kedatangan. Gedung parkir ini dibangun untuk memfasilitasi parkir kendaraan roda empat. Kurang efektifnya sistem parkir kendaraan roda empat pada gedung parkir membuat penumpukan kendaraan pada beberapa titik di area bandara, diantaranya jalur drop off pada area keberangkatan dan jalur penjemputan pada area kedatangan. Penumpukan kendaraan yang terjadi pada area bandara semakin meningkat khususnya pada akhir pekan dan menjelang hari-hari besar.



Gambar 1 Penumpukan kendaraan di pintu masuk Bandar Udara.

Sumber : Angkasapura 1 Balikpapan, Di akses 28 September 2016, Pukul 19.00

Berdasarkan data dari Angkasa Pura I selaku pengelola Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman, gedung parkir kendaraan roda empat terdiri dari 5 lantai dengan luas bangunan 79.375 m², dengan kapasitas parkir kendaraan roda empat sebanyak 1720 kendaraan. Kurangnya informasi mengenai lahan parkir yang kosong, parkir paralel yang menyulitkan pengemudi, terlebih sistem parkir inap yang rumit, serta faktor kelalaian manusia dalam mengingat tempat parkir di dalam gedung membuat pengemudi enggan memarkirkan kendaraannya di gedung parkir, walaupun kapasitas parkir gedung memadai.

Tersedianya fasilitas gedung parkir yang memadai, namun kurang efektifnya sistem dan pelayanan parkir yang ada membuat pemilik kendaraan enggan untuk memarkir kendaraannya pada gedung yang telah disediakan. Berdasarkan data diatas peneliti tertarik untuk mengetahui penggunaan sistem parkir, agar gedung parkir pada Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman dapat berfungsi secara optimal

1.2. Problem Statement

1. Faktor apa yang menyebabkan kurang efektifnya parkir mobil pada gedung parkir Bandara Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman ?
2. Solusi desain seperti apa yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan sistem parkir yang ada?

1.3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor yang menyebabkan penumpukan kendaraan di Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman yang telah memiliki gedung parkir, dan solusi apa yang dapat di gunakan agar gedung parkir yang telah ada dapat difungsikan secara optimal.

1.4. Kajian Teori

a. Bandara

Menurut ("PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 70 TAHUN 2001 TENTANG KEBANDARUDARAAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA," 2001) bab 1, pasal 1, Bandar Udara adalah lapangan terbang yang dipergunakan untuk mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, dan/atau bongkar muat kargo dan/atau pos, serta dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan sebagai tempat perpindahan antar moda transportasi. Sedangkan Bandar Udara menurut PT (Persero) Angkasa Pura I adalah lapangan udara, termasuk segala bangunan dan peralatan yang merupakan kelengkapan minimal untuk menjamin tersedianya fasilitas bagi angkutan udara untuk masyarakat.

Bandar Udara dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas penunjang yang menampung berbagai kegiatan yang terjadi di dalam Bandar Udara. Berdasarkan ("Standarisasi dan Sertifikasi Fasilitas Bandar Udara.pdf," 2015) Pasal 5 ayat (1), Sertifikasi fasilitas bandar udara, terdiri dari prasarana bandar udara, peralatan dan utilitas bandar udara. Prasarana bandar udara sisi darat yang disebutkan pada pasal 6 ayat (2), terdiri dari :

- a. Bangunan terminal penumpang dan kargo, menara pengawas lalu lintas penerbangan, bangunan operasional penerbangan, bangunan PK-PPK, bangunan Gedung Genset/Main Power House, bangunan administrasi/perkantoran dan hangar;
- b. Jalan masuk (access road)

- c. Tempat parkir kendaraan bermotor
- d. Marka dan rambu sisi darat

b. Smart Parking

Pengaturan parkir konvensional memiliki kelebihan dan kekurangan dalam memberikan informasi, teknologi komputer dapat diaplikasi sebagai sistem yang membantu dalam menyediakan informasi dengan lebih akurat, cepat dan mudah diakses. Permasalahan yang muncul adalah tidak tersedianya informasi parkir yang lengkap, informatif dan interaktif, karena sistem konvensional tidak dapat menyediakan informasi dengan lengkap. Dengan demikian diperlukan penerapan sistem komputerisasi untuk mengelola perpustakaan. Penerapan program ini bertujuan agar penempatan lokasi parkir kendaraan lebih baik/tepat dengan sistem berbasis cerdas dalam mengontrol posisi/lokasi serta memberikan data informasi yang lebih lengkap berbasis visual. Mapping lokasi parkir dengan mode visualisasi akan memberikan kemudahan bagi antarmuka pemakai dalam melakukan operasional program. Penerapan program ini sangat bermanfaat bagi pengelola parkir dengan kriteria jenis kendaraan berbeda, lahan yang luas dan dilokasikan secara spesifik/khusus serta data informasi kendaraan yang parkir untuk kepentingan data keamanan (Purwadi, 2005)

Sistem smart parkir juga sudah diatur dalam buku panduan parkir, bahwa kendaraan dapat masuk dan keluar dalam satu gedung parkir dengan dikendalikan oleh sistem komputer dan dilengkapi dengan kartu magnetic, sehingga seseorang yang memarkirkan kendaraannya akan memperoleh kartu magnetic dimana terekam waktu kedatangan, dan dimana tempat kendaraan di parkir. Saat akan dikembalikan oleh komputer dapat diambilkan kendaraan tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mengambil kendaraan adalah antara 80 hingga 120 detik untuk setiap kendaraan. Manfaat yang dapat diperoleh dari sistem parkir ini adalah :

1. Merupakan salah satu pemecahan masalah parkir berteknologi tinggi.
2. Memaksimalkan penggunaan ruangan Karena dapat dihemat ruangan untuk ramp masuk dan keluar, tangga untuk naik dan turun pejalan kaki, lintasan kendaraan
3. Tertutup secara menyeluruh sehingga meningkatkan keamanan kendaraan dari pencurian, hujan, dan matahari
4. Sangat fleksibel untuk mendesain di tempat-tempat yang luasannya terbatas ataupun bentuk lahan yang aneh
5. Penempatan kendaraan yang akan parkir dilakukan secara automatic sehingga begitu kendaraan sampai ditempat yang ditunjuk, kendaraan langsung di parkir secara automatic dan pada saat akan kembali kendaraan dapat diambil ditempat yang ditunjuk. (BSLLAK (Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas dan Angkutan Kota), 1998)

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian ini diawali dengan observasi lapangan, mengumpulkan studi literatur serta wawancara dengan pihak-pihak terkait. Studi kasus dilakukan pada Bandar Udara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman yang terletak di kota Balikpapan, Kalimantan Timur dan alat ukur data yang digunakan untuk mendokumentasikan kondisi eksisting berupa kamera.

2. PEMBAHASAN

Dalam perencanaan pembangunan, Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman mampu menampung penumpang sebanyak 1,5 juta orang per tahun pada 2017, namun sejak 2014 lalu jumlahnya sudah menembus 3 juta orang per tahun. Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman juga akan membuka terminal embarkasi untuk jemaah haji tujuan Jeddah (Dondokambey, 2013)

Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman merupakan salah satu Bandar Udara di Indonesia dengan standar Internasional yang telah menerima beberapa penghargaan, yaitu :

- a. Bandara Sehat 2014 oleh Kementerian Kesehatan RI (26 November 2014).
- b. Best of The Best Airport of The Year oleh Bandara Award 2014 (10 Desember 2014).
- c. Penghargaan Prima Utama Pelayanan Transportasi Publik Terbaik 2014 oleh Kementerian Perhubungan RI (11 Desember 2014).
- d. Penghargaan Prima Utama, Pelayanan Prima Unit Pelayanan Publik di Lingkungan Perhubungan 2016 oleh Kementerian Perhubungan RI (19 September 2016).

```

graph TD
    A[Memberikan data pribadi] --> B[Pengarahan tempat parkir inap]
    B --> C[Terminal keberangkatan]
    C --> D[Terminal kedatangan]
    D --> E[Membayar parkir]
    E --> F[Keluar bandara]
    E -.-> D
    E -.-> C

```

Gambar 2 Sistem sirkulasi pengguna gedung parkir saat ini

Sumber : Peneliti, September 2016

a sistem sirkulasi, pengguna parkir Bandar Udara dibedakan menjadi tiga bagian antara lain :

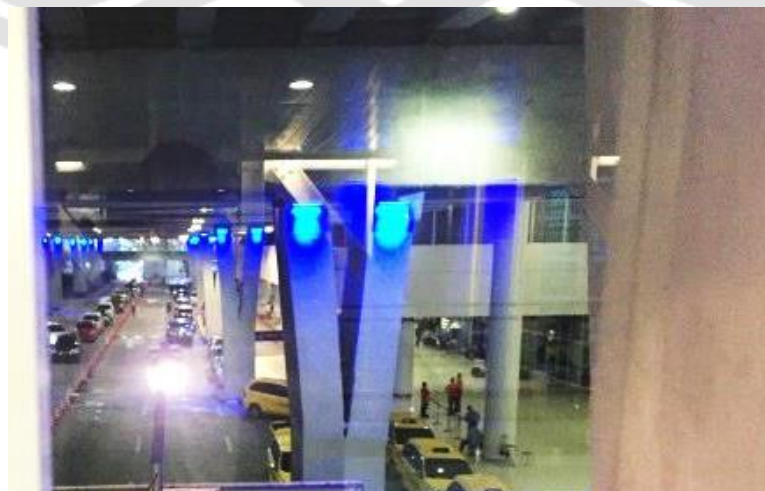
Bagi pengguna parkir yang akan menuju ke gedung parkir dapat langsung menuju ke area gedung parkir setelah mengambil kartu parkir.

Bagi pengguna gedung parkir yang menginapkan kendaraannya, harus melapor terlebih dahulu kepada petugas parkir. Setelah itu pengemudi di berikan petunjuk oleh petugas area inap kendaraan yang dapat digunakan.

Bagi pengguna gedung parkir yang akan menurunkan penumpang terlebih dahulu di drop off area dan parkir, maka pengemudi harus mengambil jalan memutar setelah menurunkan penumpang dan barang di drop off area.

Sumber : Peneliti, September 2016

- Bagi pengguna parkir yang akan menuju ke gedung parkir dapat langsung menuju ke area gedung parkir setelah mengambil kartu parkir.
- Bagi pengguna gedung parkir yang menginap kendaraan, harus melapor terlebih dahulu kepada petugas parkir. Setelah itu pengendara di berikan petunjuk oleh petugas area inap kendaraan yang dapat digunakan.
- Bagi pengguna gedung parkir yang akan menurunkan penumpang terlebih dahulu di drop off area dan akan parkir, maka pengendara harus mengambil jalan memutar setelah menurunkan penumpang dan barang di drop off area.



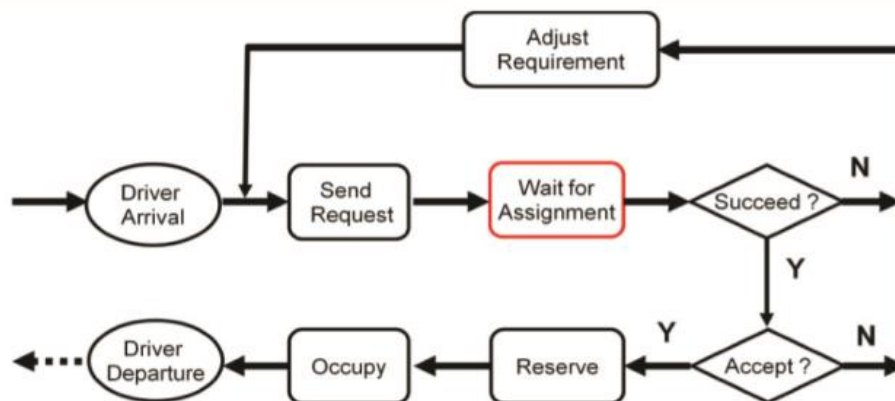
Sumber : Peneliti, 22 September 2016

Penggunaan sistem parkir yang ada saat ini di Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman memiliki beberapa kekurangan yaitu :

1. Sistem parkir yang ada pada Bandar Udara ini masih mengandalkan tenaga manusia berupa petugas parkir yang bertugas mencari area parkir bagi pengendara yang akan memarkir di dalam gedung parkir. Penggunaan sistem mencari area parkir seperti ini menjadi kurang efektif karena membutuhkan waktu tunggu, bagi pengguna lain di area parkir.
2. Sistem parkir paralel dan tidak ada informasi area parkir yang kosong membuat pengguna gedung parkir yang akan mengambil kendaraan harus mencari kendaraan secara manual.
3. Alur sirkulasi dan sistem parkir yang kurang efektif menyebabkan banyak pengguna kendaraan lebih memilih tidak memarkirkan kendaraan pada gedung parkir melainkan memarkirkan kendaraan di sepanjang area drop off dan jalur penjemputan pada area kedatangan, sehingga membuat penumpukan kendaraan dan kemacetan pada jalur tersebut.
4. Penggunaan system parkir konvensional pada Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman dengan jumlah kebutuhan parkir yang meningkat setiap tahunnya dengan fasilitas parkir yang tersedia namun tidak efektif menyebabkan gedung parkir yang sudah terbangun menjadi ruang-ruang yang tidak terpakai atau pemborosan ruang, sedangkan pada area *drop off* yang bukan merupakan area parkir menjadi padat dengan aktivitas.

Gedung parkir Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman ini memiliki ukuran luasan total 79.375 m² . Kapasitas awal yang dapat ditampung setiap lantai pada gedung ini sebanyak 344 mobil dengan ukuran 2.4 m x 5 m per kantong-kantong parkir. Dengan jumlah luasan parkir yang dapat ditampung per lantai parkir, maka desain awal dari gedung parkir Bandar Udara Sultan Aji Muhammad Sulaiman mampu menampung 1720 mobil dalam satu waktu.

Penggunaan sistem parkir yang akan diterapkan nantinya ialah sistem *smart parking*, yaitu sistem parkir otomatis pada gedung parkir tanpa adanya lagi bantuan tenaga manusia karena menggunakan *mobile robotic*. Sistem *smart parking* yang digunakan adalah *Automatic Guided Vehicle (AGV)* dengan jenis *Laser Guidance Technology*. AGV diletakkan pada plot (robot yang bergerak otomatis sebagai pedestal mobil) dengan menggunakan mikrokontroler sebagai master dan memiliki sensor ultrasonic untuk membaca penghalang didepan plot.



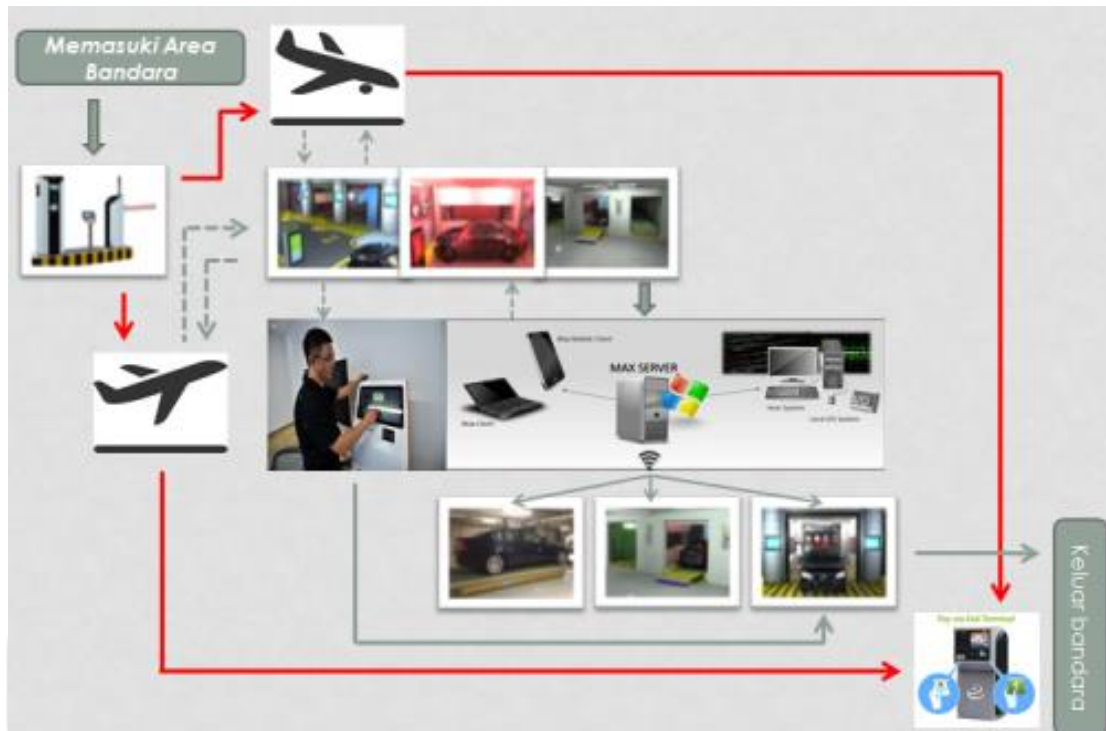
Gambar 04 Contoh alur smart parking
Sumber: (Geng & Cassandras, 2012), 12 Oktober 2016

Setiap plot memiliki sensor yang terkoneksi dengan *laser scanner* pada setiap lantai gedung untuk mengetahui letak area parkir yang kosong dan data yang didapat merupakan *real time* karena terhubung dengan komputer.

Untuk mendukung sistem AGV pada gedung parkir, lift mobil otomatis akan di letakkan di depan jalur pintu kedatangan ataupun keberangkatan. Pengguna kendaraan yang akan memarkirkan kendaraan hanya perlu memasukkan kendaraan dalam bilik-bilik lift sesuai nomor yang tertera saat pengambilan tiket parkir di pintu masuk Bandar Udara, kemudian pergi menuju pintu masuk kedatangan atau keberangkatan sesuai dengan kepentingan masing-masing, setelah pengendara keluar dari bilik lift maka sensor pada lift membaca sampai tidak adanya manusia, lift akan bergerak secara otomatis menuju lantai dimana terdapat area parkir yang kosong. Setelah itu plot akan bergerak otomatis menjemput kendaraan dan parkir pada titik-titik parkir yang kosong.

Untuk pengoptimalan sistem *smart parking*, gedung parkir di redesign agar pemanfaatan ruang pada gedung parkir lebih maksimal. Jadi, sistem *smart parking* dapat berjalan dengan optimal, baik dari segi sistem ataupun kuantitas kendaraan yang dapat ditampung oleh gedung.

Penggunaan system *smart parking* ini tidak hanya mempermudah pengendara mobil yang akan menjemput atau mengantarkan, namun juga mempermudah bagi pengguna area parkir yang akan menginapkan kendaraannya.



Gambar 05 Redesign Alur sirkulasi pengguna gedung parkir

Sumber : Hasil Analisi Peneliti, September 2016

Penggunaan system *smart parking* di Bandara Sultan Aji Muhammad memiliki beberapa kelebihan antara lain :

1. Satuan lantai parkir yang pada awalnya hanya mampu menampung 344 mobil, kini menjadi 606 mobil, dan apabila keseluruhan lantai gedung parkir menggunakan sistem ini maka jumlah kendaraan yang dapat ditampung oleh gedung parkir total sebanyak 3230 mobil.
2. Sirkulasi pengendara di dalam bandara juga diubah menjadi lebih efektif karena semua data parkir dari pengendara dapat di akses oleh pengendara menggunakan *smart phone*, sehingga keamanan kendaraan menjadi lebih terjaga karena kendaraan hanya dapat diakses oleh pemilik kendaraan .
3. Pemborosan ruang yang terjadi karena menggunakan tenaga manusia menjadi lebih efektif karena sistem kerja yang terhubung dengan komputer dan data real time .
4. Mengurangi penumpukan kendaraan di area *drop off*, dengan berkurangnya penumpukan kendaraan di area *drop off* artinya penggunaan kendaraan berkontribusi untuk mengurangi gas emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan yang terus menyala di area *drop off*. Area *drop off* tidak diperbolehkan untuk memarkir kendaraan, sehingga pengguna kendaraan umum maupun pribadi terbiasa memberhentikan kendaraan mereka di area *drop off* tanpa mematikan mesin sehingga mengakibatkan kendaraan akan mengantri panjang pada waktu-waktu tertentu.
5. Penggunaan sistem *smart parking* dapat membantu proses pengembangan gedung parkir yang ada di Bandara Sultan Aji Muhammad karena data kendaraan yang masuk langsung tersimpan di server komputer sehingga membuat proses pengembangan parkir Bandara menjadi lebih efektif dan mengurangi pemborosan adanya pemborosan ruang parkir di Bandara.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, maka ditemukan bahwa penggunaan sistem smart parking dapat meningkatkan ke efektifan jumlah total volume mobil di gedung parkir bandara sebanyak 1.510 mobil atau naik sebanyak 15% dan jumlah mobil yang dapat ditampung oleh satu lantai naik sejumlah 176 kendaraan, dari jumlah awal hanya menampung 344 kendaraan dengan menggunakan sisem *smart parking*, mampu menampung 606 mobil. Selain meningkatkan kuantitas mobil yang ditampung, dengan menggunakan sistem *smart parking*, data penggunaan parkir di bandara dapat membantu pengembangan fasilitas bandara kedepannya, karena data pengguna bandara tersimpan dalam server sebagai data *real time*.

DAFTAR PUSTAKA

- BSLLAK (Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas dan Angkutan Kota). (1998). Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir.
- Dondokambey, F. G. (2013). Perencanaan Pengembangan Bandar Udara (Studi Kasus : Bandar Udara Sepinggan Balikpapan), 1(4).
- Geng, Y., & Cassandras, C. G. (2012). A new “Smart Parking” System Infrastructure and Implementation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54(may 1877), 1278–1287. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.842>
- Haryanto, A. (2012). Airport City. *Angkasapura*, 1–52.
- PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 70 TAHUN 2001 TENTANG KEBANDARUDARAAN PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA. (2001).
- Purwadi, J. (2005). Pemrograman Interaktif SIPP : Program Informasi Pengaturan dan Penjadwalan Parkir Berbasis Cerdas. *Seminar Nasional Ilmu Komputer & Teknologi Informasi*, 1(Sistem Pakar).
- Standarisasi dan Sertifikasi Fasilitas Bandar Udara.pdf. (2015). Jakarta.

KARAKTERISTIK PENCAHAYAAN BUATAN PADA NONENGINEERED HOUSES DAN PENGARUHNYA TERHADAP POTENSI PENGHEMATAN ENERGI

Tania Lavinda Swanto Putri ¹⁾ ; Khaerunnisa ²⁾

1) Mahasiswa Program Sarjana Prodi Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

2) Pengajar Program Studi Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

ABSTRAK

Di Indonesia khususnya Daerah Istimewa Yogyakarta pada Kawasan Kali Code, Kelurahan Kota Baru, Kecamatan Gondokusuman, mayoritas bangunan rumah tinggal yang dibangun tidak didasarkan pada aturan-aturan pemerintah dan aturan membangun yang benar. Berdasarkan tindakan tersebut maka diperlukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pencahayaan buatan untuk bangunan non engineered houses sehingga hal ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui potensi penghematan energi yang dapat dilakukan dengan memaksimalkan pencahayaan alami. Metodologi yang digunakan adalah metode kuantitatif, dimana data primer dikumpulkan melalui observasi, wawancara dan kuisioner. Dan data sekunder diperoleh melalui studi literatur. Penelitian dilakukan di Kawasan Kali Code, Kelurahan Kota Baru, Kecamatan Gondokusuman, Daerah Istimewa Yogyakarta pada periode April-Juni 2017. Berdasarkan penelitian pada Bangunan Non engineered Houses, penelitian akan fokus kepada Karakteristik Pencahayaan Buatan pada Bangunan Non Engineered Houses. Pengolahan data dilakukan dengan metode analisis kuantitatif melalui cross tabulation untuk mengetahui karakteristik pencahayaan buatan pada non-engineered houses di Kecamatan Gondokusuman. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Masyarakat setempat tidak terlalu memikirkan dampak bagi kesehatan mereka saat beraktivitas di dalam rumah dengan pencahayaan yang minim. Rekomendasi untuk memperbaiki pencahayaan buatan yang ada yaitu dengan menambah titik pencahayaan buatan pada ruangruang dengan pencahayaan minim ataupun memaksimalkan pencahayaan alami dengan mengubah fisik bangunan yang ada.

Keyword: Rumah Tinggal, Non Engineered Houses, Pencahayaan Buatan, Potensi Penghematan Energi.

1. LATAR BELAKANG

1.1 Pengantar

Di Indonesia banyak bangunan khususnya permukiman penduduk dibangun tanpa adanya campur tangan dari seorang arsitek. Kebanyakan bangunan yang dibangun tanpa seorang arsitek di tengah kota berkembang di daerah bantaran sungai. Salah satu permukiman padat yang dibangun di

daerah bantaran sungai adalah daerah bantaran sungai Kali Code. Walaupun demikian tidak dapat dipungkiri bahwa tingkat ekonomi di permukiman bantaran Kali Code termasuk dalam golongan ekonomi menengah kebawah. Letak lokasi perkampungan yang

sangat strategis, terletak di tengah kota dan diapit dengan berbagai macam fasilitas umum dan sosial. Oleh sebab itu, semakin banyak warga pendatang dari luar daerah kota yang menetap di perkampungan tersebut, menjamurnya permukiman di bantaran Kali Code adalah dikarenakan oleh faktor urbanisasi. Padatnya permukiman di Kali Code yang dihuni oleh masyarakat yang hanya mampu menyelesaikan bangku sekolah pada tingkat dasar bahkan tidak mengenyam pendidikan sama sekali menyebabkan mayoritas bangunan rumah tinggal di permukiman kali code yang dibangun tidak didasarkan pada aturan-aturan pemerintah dan aturan membangun yang benar. Oleh karena membangun bangunan sendiri tanpa adanya campur tangan seorang arsitek sehingga membuat bangunan tersebut tidak dapat dipastikan kesesuaiannya dengan standar yang ada. Tapi hal ini tidak melulu merupakan hal yang buruk. Mengetahui karakteristik pencahayaan buatan untuk bangunan non engineered houses dapat dijadikan sebagai dasar perancangan pencahayaan lebih lanjut pada permukiman padat penduduk di tengah kota. Hal ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui potensi penghematan energi yang dapat dilakukan dengan memaksimalkan pencahayaan alami.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk evaluasi kesesuaian karakteristik pencahayaan buatan pada bangunan non engineered houses berdasarkan SNI dan pengaruhnya terhadap potensi penghematan energi. Sasaran penelitian yang berusaha dicapai adalah untuk mengetahui karakteristik pencahayaan buatan pada non engineered houses di daerah perkotaan berdasarkan SNI yang diisyaratkan, serta mengetahui potensi penghematan energi pada bangunan non engineered houses di daerah perkotaan.

1.3 Metode Penelitian

Metode Pengumpulan Data diawali dengan pendataan fisik. Pendataan fisik dilakukan untuk mendapatkan data eksisting terkait kondisi rumah secara mendetail sehingga dapat dilakukan perhitungan defisiensi Lux pencahayaan pada eksisting dan SNI. Alat yang digunakan untuk pendataan fisik ialah alat tulis, meteran digital, kamera, dan Lux meter. Sampel diambil dengan melihat rumah yang sederhana dengan 1 lantai dan tidak berada tepat ditepi bantaran

sungai Kali Code. Dari pendataan fisik tersebut terkumpul sejumlah 20 sampel. Kemudian peneliti memberikan kuisioner kepada responden yang berisi pertanyaan terkait dengan kenyamanan yang mencakup penghawaan, pencahayaan alami dan pencahayaan buatan pada rumah yang ditempati, pengetahuan masyarakat akan rumah sehat dan penerapannya serta perilaku responden terhadap rumahnya. Penulis memperoleh teori dan informasi melalui buku-buku, jurnal, penelitian, surat kabar dan sebagainya yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian. Selama pengumpulan data, peneliti melakukan dokumentasi sebagai bukti konkret mengenai kegiatan-kegiatan terkait dengan penelitian. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif sebagai pendekatan utama. Teori analisis yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan penggabungan SNI, teori-teori kepustakaan mengenai karakteristik pencahayaan buatan, serta pengolahan data menggunakan perangkat lunak terkait. Pertama – tama pengolahan data dilakukan dengan cara tabulasi silang. Tabulasi Silang digunakan untuk memperoleh faktor dominan yang mempengaruhi tingkat kesehatan rumah

dengan menyilangkan pengolahan data fisik dengan hasil kuesioner. Dari pendataan fisik, rumah dikelompokkan berdasarkan orientasi serta bentuk denah rumah. Dari kelompok tersebut kemudian direkomendasikan menggunakan hasil perhitungan data-data yang didapat dilapangan dan hasil tabulasi silang. Metode penarikan kesimpulan dalam penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kesesuaian antara data literatur dan standar dengan kondisi eksisting di lapangan yang akhirnya dapat menghasilkan sebuah hipotesis baru yang bersifat umum dan dapat dijadikan dasar bagaimana korelasi antara karakteristik pencahayaan buatan dan potensi penghematan energi.

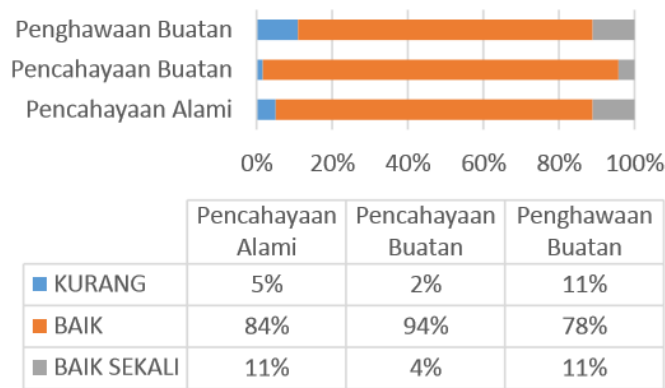
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Karakteristik Responden

Karakteristik responden dilihat berdasarkan asal responden, jenis kelamin, umur, pendidikan terakhir, pekerjaan responden dan pendapatan setiap bulannya. Berikut adalah hasil data survey dan wawancara yang diperoleh. Responden berasal dari 5 daerah, yaitu Terban (75%) yang merupakan warga asli Terban, Magelang (10%), Klaten (5%), Wonogiri (5%), dan Solo (5%). Pemilihan sampel dilakukan berdasarkan rumah sederhana dengan 1 lantai. Responden yang diambil meliputi semua jenis kelamin, yaitu pria dan wanita. Jenis Kelamin responden yang paling sering dijumpai adalah perempuan (95%), dikarenakan warga laki-laki (5%) sedang mencari nafkah ketika survei dilakukan. Responden terdiri dari usia 20 hingga 75 tahun, baik pria maupun wanita. Berdasarkan data yang diperoleh dari 20 responden yang dijumpai pada saat penelitian, jumlah responden terbanyak pada rentang usia 40-59 tahun. Pendidikan Terakhir masyarakat setempat sebagian besar lulusan SMA (40%), lulusan SMEA (15%), lulusan SMP (10%), lulusan SD (10%), lulusan D3 (5%), Kuliah (5%), bahkan yang tidak mengenyam pendidikan sama sekali mencapai (10%). Pekerjaan Responden didominasi oleh Buruh (25%), Tukang Parkir (15%) dan Tidak Bekerja (15%). Profesi responden lainnya meliputi Pedagang (10%), Tukang Pijat (5%), SPG (5%), Guru (5%), Wiraswasta (5%), Cleaning Service (5%), Tukang Jahit (5%) dan Karyawan Swasta (5%). Beragamnya jenis pekerjaan responden mempengaruhi pola pikir yang berbeda juga. Pendapatan Responden dikategorikan menjadi Rp. >Rp 1.400.000 (75%), sesuai UMR yaitu Rp 1.572.000 (15%), Rp 1.400.000 – Rp 3.000.000 (5%) dan <Rp 3.000.000 (5%). Pendapatan Masyarakat terbilang cukup rendah.

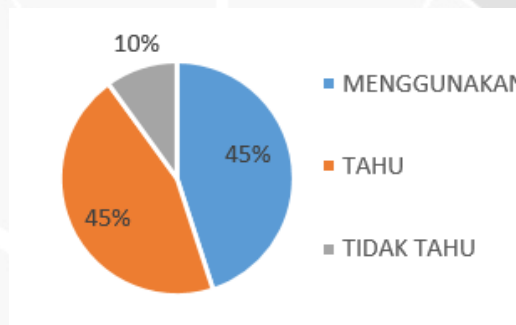
2.2 Penilaian Responden Terhadap Pencahayaan Buatan

Berdasarkan hasil wawancara terhadap responden dengan total ruang pada 20 rumah sejumlah 118 ruang, sebagian besar responden menyatakan bahwa keadaan Pencahayaan Buatan pada rumah dinilai baik (94%), hanya (2%) ruang yang dinilai kurang dalam pencahayaan buatan. (4%) menyatakan baik sekali.



Grafik 2.1 Penilaian Responden Sumber: Pengolahan Data Primer, 2017

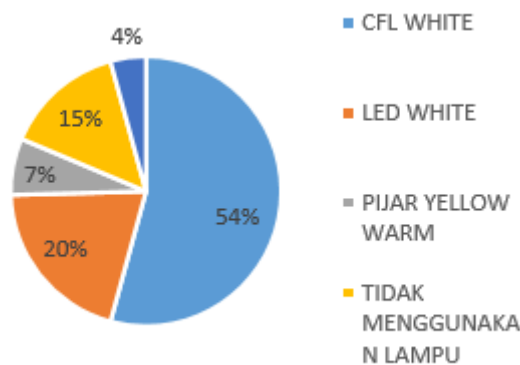
Pengetahuan Responden Tentang Lampu Hemat Energi Pada kuesioner ini, kami menanyakan seberapa besar pengetahuan responden terhadap lampu hemat energi. Sebanyak 9 responden (45%) sudah mengetahui tapi belum menggunakan Lampu Hemat Energi. Sebanyak 9 responden (45%) Sudah menggunakan Lampu Hemat Energi dan sebanyak 2 responden (10%) tidak tahu sama sekali mengenai Lampu Hemat Energi.



Grafik 2.2 Lampu Hemat Energi Sumber: Pengolahan Data Primer, 2017

2.3 Harga dan Pilihan Jenis Lampu

Dari 20 responden yang diwawancara sebesar 50% menggunakan lampu dengan kisaran harga antara Rp 5.000,00 – Rp 19.000,00 dan sebesar 50% lainnya menggunakan lampu dengan kisaran harga antara Rp 20.000,00 – Rp 59.000,00. Dapat disimpulkan bahwa pemilihan lampu lebih mengutamakan harga lampu yang murah. Penggunaan lampu di lapangan bermacam-macam jenisnya, penggunaan lampu jenis CFL White (54%), LED white (20%), Pijar Yellow Warm (7%), TL white (4%), dan ruangan yang tidak menggunakan lampu sama sekali (15%). Dapat disimpulkan bahwa masyarakat lebih memilih penggunaan lampu CFL white karena pertimbangan harga, dan sebagian masyarakat sudah beralih ke lampu hemat energi yaitu LED.



Grafik 2.3 Jenis Lampu yang Digunakan Sumber: Pengolahan Data Primer, 2017

2.4 Tabulasi Silang Kesehatan Rumah dengan Tagihan Listrik Perbulan

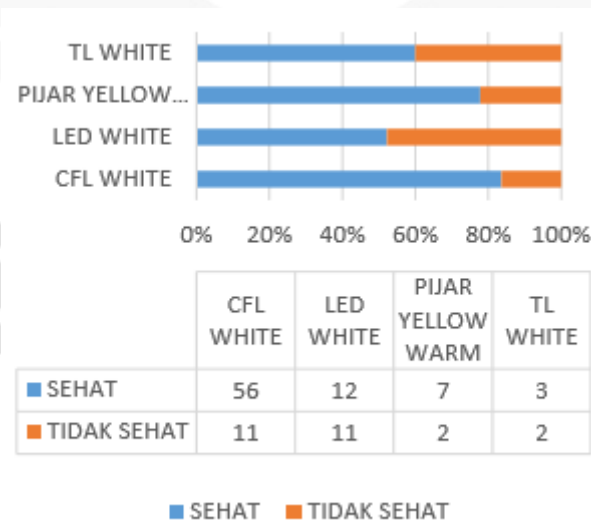
Tabulasi Silang antara tingkat kesehatan rumah dengan tagihan listrik yg dikeluarkan setiap bulannya didapatkan hasil bahwa rumah dengan kategori rumah tidak sehat membayar sebesar Rp. 5.000,00 – Rp. 100.000,00 (58%), rumah dengan kategori sehat membayar sebesar Rp. 5.000,00 – Rp. 100.000,00 (42%) dan rumah kategori sehat membayar sebesar Rp. 101.000,00 – Rp.200.000,00 (83%), rumah dengan kategori tidak sehat membayar sebesar Rp. 101.000,00 – Rp.200.000,00 (17%), dan rumah dengan kategori sehat membayar sebesar Rp. 201.000,00 – Rp. 500.000,00. Dapat disimpulkan bahwa rumah dengan kategori tidak sehat membayar tagihan listrik paling rendah yaitu sebesar Rp. 5.000,00 – Rp. 100.000,00.



Grafik 2.4 Tabulasi Silang Tingkat Kesehatan Rumah dengan Tagihan Listrik Sumber: Analisis Penulis, 2017

2.5 Tabulasi Silang Kesehatan Rumah dengan Lampu yang Digunakan

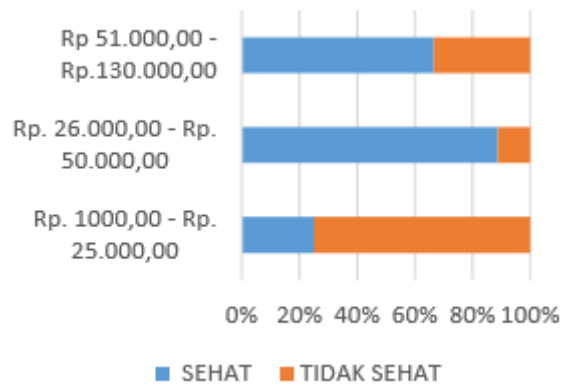
Tabulasi silang antara tingkat kesehatan rumah dengan jenis lampu yang digunakan didapatkan hasil bahwa pemakaian lampu CFL, LED, Pijar dan TL menunjukkan bahwa banyaknya pemakaian lampu tersebut mengarah kepada kategori rumah yang sehat, namun secara persentase tidak dapat disimpulkan bahwa kesehatan rumah dipengaruhi oleh pemakaian jenis lampu.



Grafik 2.5 Tabulasi Silang Tingkat Kesehatan Rumah dengan Jenis Lampu Sumber: Analisis Penulis, 2017

2.6 Tabulasi Silang Kesehatan Rumah dengan Penambahan Biaya Listrik

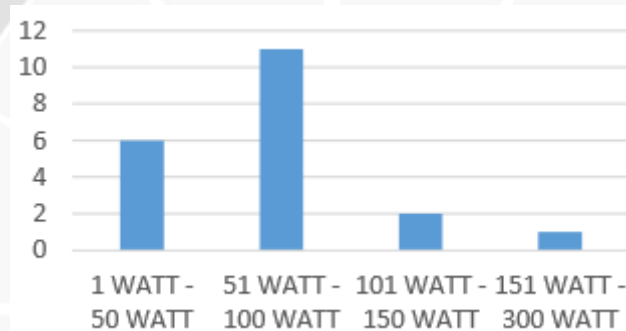
Tabulasi silang antara tingkat kesehatan rumah dengan Penambahan biaya listrik perbulan sebagai solusi agar pencahayaan yang tidak memadai dapat terselesaikan dengan penambahan pencahayaan buatan. Maka didapatkan hasil bahwa penambahan pengeluaran tagihan listrik perbulan dengan pengeluaran berkisar antara Rp 26.000,00 – Rp 50.000,00 masuk dalam kategori sehat. dan penambahan pengeluaran sebesar Rp 51.000,00 – Rp 130.000,00 masuk dalam kategori rumah yang sehat, sisanya pengeluaran dengan tagihan kisaran Rp 1000,00 – Rp 25.000,00 masuk dalam kategori rumah yang tidak sehat.



Grafik 2.6 Tabulasi Silang Tingkat Kesehatan Rumah dengan Penambahan Biaya Tagihan Listrik Sumber: Analisis Penulis, 2017

2.7 Defisiensi Lux antara Lux Pencahayaan Eksisting dengan SNI

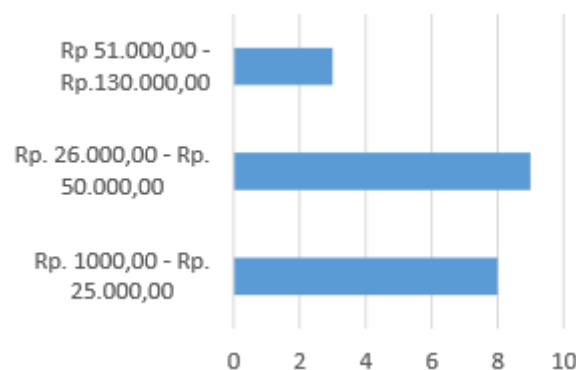
Dari 20 rumah responden didapatkan defisiensi lux tiap rumah kemudian nilai lux dikonversi ke dalam nilai watt, dari banyaknya data kemudian dilakukan pengkategorian kedalam 4 kategori yaitu defisiensi watt sebesar 1W–50W (6 rumah), 51W–100W (11rumah), 101W–150W (2rumah), dan defisiensi sebesar 151W–300W (1rumah).



Grafik 2.7 Defisiensi Lux Sumber: Analisi Penulis, 2017

2.8 Penambahan Tagihan Listrik

Setelah didapat jumlah defisiensi watt tiap ruang di setiap rumah kemudian dilakukan perhitungan dengan penambahan watt pada rumah dengan ruang-ruang yang tidak memenuhi SNI, selanjutnya penambahan watt dikonversikan kedalam nilai rupiah, jadi didapatkan besar penambahan rupiah tiap rumah setiap bulannya jika pemakaian lampu selama 12 jam sehari dalam sebulan. Berikut merupakan grafik penambahan tagihan listrik perbulan dari 20 rumah responden. Terdapat 3 kategori penambahan tagihan listrik perbulan, berkisar antara Rp 1000,00 – Rp 25.000,00 sebanyak 8 rumah, berkisar antara Rp 26.000,00 – Rp 50.000,00 sebanyak 9 rumah, dan berkisar antara Rp 51.000,00 – Rp 130.000,00 sebanyak 3 rumah.



Grafik 2.8 Penambahan Tagihan Listrik Sumber: Analisi Penulis, 2017

2.9 Modal Awal Jika Ingin Melakukan Penambahan Titik Lampu

Untuk memenuhi kesehatan pengguna ruang di setiap rumah, penambahan pencahayaan buatan pada tingkat pencahayaan yang tidak sesuai SNI menjadi salah satu rekomendasi untuk mendapatkan tingkat pencahayaan yang maksimal saat berkegiatan di ruang-ruang di dalam rumah.

Modal awal yang harus dikeluarkan jika penghuni memilih untuk menambah titik pencahayaan buatan dengan Lampu Hemat Energi (LED) agar setiap ruang yang tadinya tidak memenuhi SNI dapat dibantu dengan penambahan lampu pada setiap ruang yang memerlukan pencahayaan yang baik saat berkegiatan didalam rumah.

3. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian karakteristik pencahayaan buatan pada bangunan non engineered houses berdasarkan SNI dan pengaruhnya terhadap potensi penghematan energi. Berdasarkan hasil analisis data dan solusi perhitungan penambahan jumlah titik lampu, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Karakteristik pencahayaan buatan pada 20 rumah yang diteliti di Kawasan Bantaran Kali Code yang pertama adalah jenis lampu yang dipakai oleh masyarakat setempat bermacam-macam, seperti lampu CFL (Compact Fluoresens lamp), lampu LED, Lampu Pijar, dan lampu Fluoresens biasa atau sering disebut lampu TL. Masyarakat setempat tidak terlalu memikirkan dampak bagi kesehatan mereka saat beraktivitas di

dalam rumah dengan pencahayaan yang minim hal tersebut dapat dilihat dari beberapa ruang didalam rumah bahkan tidak diberi lampu sama sekali, yang kedua harga lampu yang dibeli pun cenderung lebih murah berkisar antara Rp 5000,00 – Rp 19.000,00 dan antara Rp 20.000,00 – Rp 59.000,00. Sehingga hal tersebut menyebabkan tagihan listrik yg harus dibayar perbulan tidaklah terlalu tinggi yaitu berkisar antara Rp. 5000,00 – Rp 200.000,00 setiap rumahnya.

Beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan pencahayaan tiap rumah di daerah setempat agar sesuai dengan SNI yang berlaku dan agar pemakaian energi tiap rumah dapat diminimalkan yaitu dengan cara:

1. Melakukan penambahan titik lampu pada ruang-ruang yang masih jauh dari standar pencahayaan yang diijinkan. Dengan menggunakan lampu hemat energi (LED). Dengan modal awal yang harus disiapkan mulai dari Rp 25.000,00 hingga Rp. 100.000,00 bahkan dapat mencapai Rp 300.000,00 tergantung dengan kebutuhan dan tingkat pencahayaan tiap rumah yang berbeda-beda.
2. Modal awal sebesar Rp. 25.000,00 hingga Rp 100.000,00 dapat dicoba jika penghuni ingin mendapatkan pencahayaan yg cukup dengan cara melakukan penambahan titik lampu, tentu cara ini lebih efektif tanpa harus melakukan perubahan fisik pada bangunan dengan cara merenovasi rumah agar dapat memanfaatkan pencahayaan alami.
3. Tetapi bagi penghuni yang merasa keberatan, ataupun modal awal diatas Rp.100.000,00 karena biaya yang lumayan besar sebaiknya merenovasi rumah dengan cara menambahkan bukaan pada rumah seperti jendela, ventilasi, atau skylight pada atap dapat menjadi solusi untuk mengoptimalkan potensi penghematan energi dengan cara memaksimalkan pencahayaan alami pada rumah agar tingkat pencahayaan yg cukup dapat masuk kedalam rumah.

DAFTAR PUSTAKA

- Satwiko, P. (2004). Fisika Bangunan. Yogyakarta : Andi.
- Standar Nasional Indonesia. (2001). SNI 03-6575-2001: Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarnisasi Nasional.
- Yogyakarta, D. K. (2012). Profil Kesehatan Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2012. Yogyakarta: Dinas Kesehatan Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Fitriani, A. (2007). Rumah Sederhana Sehat, Skripsi. Depok: Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Sardi. Kajian Konsep Lingkungan (Rumah Sehat) Dalam Perancangan Rumah Hunian, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra. Setiawan, Budi. Grace Hartanti. Pencahayaan Buatan Pada Pendekatan Teknis dan Estetis untuk Bangunan dan Ruang dalam, Interior Design Department, School of Design, Binus University. Savitri, Mila Andria. Peran Pencahayaan Buatan dalam Pembentukan suasana dan Citra Ruang Komersial. Case Study on Thematic Restaurant in Bandung.
- Keman, S. (2005). Kesehatan Perumahan dan Lingkungan Perumahan. Jurnal Kesehatan lingkungan Vol.2 No.1 , 29-42.

Keputusan Menteri Permukiman Dan Prasarana Wilayah Nomor: 403/Kpts/M/2002. (2002). Pedoman Teknis Pembangunan Rumah Sederhana Sehat (Rs Sehat). Jakarta: Kementerian Permukiman Dan Prasarana Wilayah Republik Indonesia

Mukono, H.J. (2000). Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan. Surabaya: Airlangga. University Press.

Susanto, Kevin Adhitya. (2016). Kondisi Pencahayaan Pada Non-Engineered Houses dan Pengaruhnya pada Derajat Rumah Sehat di Daerah Pedesaan, Fakultas Arsitektur, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.



